

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Технічні засоби автоматизації.
Математичні операції
на пневматичних елементах та їх
використання в системах керування

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
до вивчення курсу
“Технічні засоби автоматизації. Електричні та пневматичні
системи керування”

*Рекомендовано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

УДК 62-522.7:005
ББК з 965-042.3 я 73
М79

Технічні засоби автоматизації. Математичні операції на пневматичних елементах та їх використання в системі керування: Навчальний посібник до вивчення курсу «Електричні та пневматичні системи керування» для студентів, що навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі: П. М. Сташкевич, М. В. Лукінюк – Електронні текстові дані (1 файл: 4,529 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 319 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 10 від «20» червня 2019 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету
(протокол № 5 від «03» червня 2019 р.)*

ЕЛЕКТРОННЕ МЕРЕЖЕВЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
МАТЕМАТИЧНІ ОПЕРАЦІЇ НА ПНЕВМАТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ
ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ**

**Навчальний посібник до вивчення курсу
“Технічні засоби автоматизації. Електричні та пневматичні
системи керування”
для студентів, які навчаються за спеціальністю 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Укладачі:	Сташкевич Павло Миколайович, ст. викладач Лукінюк Михайло Васильович, ст. викладач
Відповідальний редактор	А. І. Жученко, докт. техн. наук, проф.
Рецензент	С. Г. Бондаренко, канд.техн.наук, доцент

Наведено короткий огляд пневматичних елементів, які застосовуються в хімічній та інших галузях промисловості та можливість реалізації на них найбільш поширених математичних операцій. Розглянута будова пневматичних регуляторів та можливість їх використання при керуванні технологічними процесами. Приведені приклади створення логічних пристроїв на пневматичних елементах та їх використання. Наведені схеми пневматичних генераторів та їх застосування при вирішенні технічних задач. Розглянута будова простих пневматичних позиціонерів.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та іншими суміжними спеціальностями.

УДК62-5227:005
ББК з 965-042.3 я 73

© КПІ ім. Ігоря Сікорського

М79

У авторській редакції

ЗМІСТ

Передмова	8
1. Основні положення	10
2. Коротка історична довідка	11
3. Короткий огляд існуючих видів пневмоавтоматики.....	14
3.1. Пневмоавтоматика, побудована за принципом компенсації сил.....	14
3.2. Пневмоавтоматика, побудована за принципом компенсації переміщень.....	18
3.3. Пневмоавтоматика, побудована на струминних та аеродинамічних ефектах – пневмоніка	20
3.4. Пневмоавтоматика логічних операцій, побудована на золотникових (поршневих пневмореле), кулькових, одномембранних та інших елементах	22
3.5. Робота блоку вимірювання вторинних приладів системи «СТАРТ».....	36
3.6. Пневмоавтоматика силових виконавчих механізмів	39
4. Робота елементів порівняння П2ЕС.1 і П2ЕС.3 системи «УСЕППА»	41
4.1. Будова та робота тримембранного елемента порівняння П2ЕС.1	41
4.2. Будова та робота п'ятимембранного елемента порівняння П2ЕС.3	48
4.3. Виконання математичних операцій на елементах порівняння.....	52
5. Множення вхідних сигналів на коефіцієнти $K \geq 1$ та $K \leq 1$, які неперервно змінюються	60
5.1. Будова пневматичних опорів.....	60
5.2. Виведення рівняння дросельного суматора.....	70
5.3. Операція множення на коефіцієнт $K \geq 1$	71
5.4. Операція множення на коефіцієнт $K \leq 1$	75

5.5. Схема множення на коефіцієнт $K \geq 1$ двох сигналів з використанням додатного зворотного зв'язку	77
5.6. Будова пропорційних ланок	80
6. Виконання деяких математичних операцій на елементах системи «УСЕППА».....	85
6.1 Порівняння двох сигналів з інвертуванням	85
6.2 Схема множення різниці двох сигналів на постійний коефіцієнт з підсиленням потужності.....	88
6.3. Схеми селекції (вибору) мінімального та максимального сигналів з групи вхідних сигналів	90
6.4. Роботи приладу системи «Старт» ПФ1.17	97
7. Операції інтегрування та диференціювання	103
7.1. Робота аперіодичної ланки 1-го порядку	103
7. 2. Виведення рівняння та робота інтегральної ланки	108
7.3. Рівняння та робота диференційної ланки	113
8. Пневматичні регулятори системи «СТАРТ».....	117
8.1. Робота пропорціонального регулятора ПР 2.5	117
8.2. Схема пропорціонально-інтегрального регулятора ПР 3.21	120
8.3. Схема пропорціонально-інтегрально-диференціального регулятора ПР 3.25	124
8.4. Робота пропорціонального регулятора ПР 2.8	127
8.5. Робота регуляторів системи співвідношення	130
8.6. Схема регулятора ФР.0091 системи «СТАРТ».....	149
8.7. Релейні (позиційні) регулятори ПР1.5 та ПР1.6 системи «СТАРТ».....	150
8.8. Пневматичні пропорціонально-інтегральні регулятори з лінійною статичною характеристикою	153
8.9. Пропорціонально-інтегрально-диференціальний регулятор з лінійною статичною характеристикою ПР3.35.....	160

9. Робота пристроїв, що працюють за принципом компенсації переміщення	165
9.1. Робота регулятора, що працює за принципом компенсації переміщення	165
9.2. Робота позиціонера, що працює за принципом компенсації переміщення	167
9.3. Робота позиціонера, який працює за принципом компенсації сил.....	170
10. Логічні операції, побудовані на пневматичних реле системи «УСЕППА».....	173
10.1. Операції «ІМПЛІКАЦІЯ» та «ЗАБОРОНА» або «ЗВОРОТНА ІМПЛІКАЦІЯ»	173
10. 2. Операції «ШТРИХ ШЕФФЕРА» та «СТРІЛКА ПІРСА».....	174
10. 3. Операція порівняння	175
10. 4. Операція «ВИНЯТОК АБО»	176
10. 5. Двійкові числа та знаходження їх суми	177
11. Пневматичні генератори, побудовані на елементах системи «УСЕППА», та їх використання.....	181
11.1. Електромеханічні генератори.....	181
11.2. Робота пневматичного генератора, побудованого на реле ПІР.1	185
11.3. Призначення імпульсаторів.....	192
11.4. Генератори лінійно зростаючого тиску.....	197
11.5. Генератори лінійно спадаючого тиску	201
11.6. Практичне використання генераторів лінійно зростаючого та спадаючого тисків	204
11.7. Робота цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), побудованого за принципом компенсації витрат	212
11.8. Генератори, побудовані на струминних ефектах	214
11.9. Генератори, побудовані на ефекті прилипання струменя до стінки.....	215

11.10 Пневмоакустичні генератори	221
11.11. Струминно-механічні генератори.....	223
12. Використання пневматичних регуляторів для побудови схем автоматизації	226
12.1. Розроблення схем автоматизації. Схеми контролю та керування хіміко-технологічними процесами.....	226
12.1.1. Призначення схем автоматизації та загальні принципи їх виконання	226
12.1. 2. Графічне зображення технологічного устаткування та комунікацій	230
12.1. 3. Графічне зображення засобів вимірювання та автоматизації	233
12.1.4. Методика побудови умовних графічних позначень засобів автоматизації	236
12.1. 5. Позиційні позначення на схемах автоматизації.....	246
12.1. 6. Вимоги до оформлення та приклади виконання схем автоматизації технологічних процесів	248
12.1.7. Схеми сигналізації, блокування та захисту	260
12.1. 8. Схеми сигналізації.....	262
12.1.9. Схеми блокування	267
12.1.10. Схеми захисту	269
12.2. Приклади використання пневматичних схем автоматизації.....	272
13. Пневматичні перетворювачі та системи передавання вимірювальної інформації.....	278
13.1. Перетворювач кутове зміщення – пневмосигнал.....	281
13.2. Пневмосилові перетворювачі.....	283
13.3. Пневматичні вторинні прилади.....	284
13.4. Робота станцій керування вторинних приладів системи «СТАРТ».....	286
Список літератури	294

Додатки.....	296
Додаток 1.Контрольні питання	296
Додаток 2. Перелік сучасних регуляторів системи «СТАРТ»	299
Додаток 3. Типи аналого-цифрових перетворювачів	303
Додаток 4. Специфікація устаткування, виробів і матеріалів (зразок).....	316

ПЕРЕДМОВА

Сучасний виробничий процес в хімічній, нафтохімічній, металургійній, гірничодобувній, скловарній та інших галузях народного господарства не може відбуватись без застосування засобів автоматизації. У зв'язку з тим, що в цих галузях велика ймовірність виникнення пожеж та вибухів, велика кількість засобів автоматики є засобами пневмоавтоматики, які включають пневматичні первинні перетворювачі, вимірювальні прилади, регулятори, виконавчі механізми та інші елементи, що входять до складу систем регулювання. Тому питання будови та експлуатації цих засобів і систем в цілому є дуже важливими.

Даний навчальний засіб розглядає вище зазначені питання. В першому розділі посібника наводяться основні положення, на яких базується пневмоавтоматика. У другому розділі наводиться історичний нарис та шляхи становлення цієї науки. Третій розділ є оглядовий, що коротко описує існуючі різновиди пневмоавтоматики. В четвертому розділі розглядається будова та робота найбільш поширених базових пневматичних елементів, які застосовуються в хімічній промисловості. П'ятий розділ присвячено реалізації найбільш простих обчислювальних операцій та використанню дросельних дільників для виконання операцій множення та ділення. Шостий та сьомий розділи присвячено операціям порівняння, вибору мінімального та максимального значення, інтегрування, диференціювання та реалізації цих операцій у пневматичних приладах. У восьмому розділі розглядаються регулятори та їх використання в системах керування. Дев'ятий розділ присвячено окремим пристроям, побудованим за принципом компенсації зміщення. Десятий розділ присвячено логічним операціям дискретного розділу пневмоавтоматики та деяким питанням обчислення в області двійкових чисел. Одинадцятий розділ розглядає питання побудови пнев-

матичних генераторів та їх застосування для вирішення різних технічних задач. Дванадцятий розділ присвячено функціональним схемам автоматизації, в яких використовуються пневматичні засоби. В тринадцятому розділі розглядаються пневматичні перетворювачі, системи передавання вимірювальної інформації, вимірювальні блоки та станції керування, які розміщені у вимірювальних приладах.

Посібник призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та іншими суміжними спеціальностями, і може бути використаний у вивченні таких дисциплін, як «Технологічні вимірювання», «Електричні і пневматичні системи керування», «Експлуатація систем керування» та ін., а також для виконання бакалаврських проектів та магістерських дисертацій.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Автоматика – це прикладна наукова дисципліна, яка складається з теорії автоматичного керування, принципів побудови та методів розрахунку систем керування, а також технічних засобів, на яких будуються ці системи.

Пневмоавтоматика – це розділ автоматики, який реалізує закони автоматики за допомогою стисненого повітря та аеродинамічних ефектів.

Вона поділяється на наступні види.

1. Пневмоавтоматику, побудовану за принципом компенсації сил .
2. Пневмоавтоматику, побудовану за принципом компенсації переміщень.
3. Пневмоавтоматику, побудовану за принципом компенсації витрат.
4. Пневмоавтоматику, побудовану на струминних і аеродинамічних ефектах – пневмоніку.
5. Пневмоавтоматику логічних операцій, побудовану на золотникових, кулькових, одномембранних та інших елементах.
6. Пневмоавтоматику акустичних і струминно-механічних пристроїв.
7. Пневмоавтоматику приладів вимірювання.
8. Пневмоавтоматику силових виконавчих механізмів.

Пневмоавтоматика знаходить широке застосування в хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній, газовій, харчовій, деревопереробній, мікробіологічній, машинобудівній та інших галузях промисловості. В деяких галузях промисловості кількість засобів пневмоавтоматики досягає 50%.

Основні переваги пневмоавтоматики – висока надійність, простота обслуговування та експлуатації, пожежовибухобезпечність, невелика вартість.

Недолік – порівняно невелика швидкодія, пов’язана з необхідністю заповнення стисненим повітрям пневматичних ліній зв’язку під час передачі інформації.

2. КОРОТКА ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

В розвитку пневмоавтоматики можна визначити чотири етапи:

- застосування великогабаритних універсальних приладів;
- застосування блочних пристроїв, які реалізують агрегатний принцип;
- застосування елементного принципу;
- застосування елементів та пристроїв, які використовують в роботі газодинамічні ефекти.

Великогабаритні універсальні прилади були у використанні до 40-х років 20-го століття і вирішували проблему стабілізації технологічних параметрів різних об’єктів. Їх перевага – розміщення в одному корпусі вимірювальних, показувальних, реєструвальних, регулювальних та задавальних пристроїв. Недолік – великі розміри та звужені функціональні можливості, які зтруднюють створення складних взаємозв’язаних систем автоматичного регулювання.

Розвиток промисловості зумовив необхідність створення багато-контурних систем зв’язаного регулювання. Це спричинило появу агрегатного принципу побудови систем пневмоавтоматики. Такі системи збиралися зі стандартних блоків, приладів та обчислювальних пристроїв, які виконували певну функцію в контурі регулювання (тобто, вимірювання, регулювання, реєстрацію, формування завдання, підсумовування, множення на постійний коефіцієнт і т.ін.). Кожний блок, наприклад, системи АУС (агрегатної уніфікованої системи контролю та керування) виконував певну математичну операцію і складався з однакових шайб з прокладеними поміж них мембранами.

В 50-х роках 20-го століття в промисловості почали впроваджувати оптимальні системи регулювання різними технологічними процесами. Система АУС, яка використовувалась для побудови одноконтурних та багатоконтурних систем, не дозволяла створювати оптимальні системи регулювання. У зв'язку з цим було запропоновано елементний принцип побудови пневматичних приладів і регуляторів по аналогії з системами електроніки та електроавтоматики. Згідно до цього принципу, кожний новий пневматичний прилад або система створювались не у вигляді спеціальної конструкції, а збирались із пневмоелементів універсального призначення. Кожний елемент такої системи призначений для виконання окремої аналогової або дискретної функції. Представником такої системи пневмоавтоматики є система «УСЕППА» – універсальна система елементів промислової пневмоавтоматики. Всі елементи цієї системи виконують елементарні операції та мають уніфіковане розташування входів і виходів. Монтаж їх здійснюється на спеціальних пневматичних платах, які виготовляються із оргскла та мають комунікаційні канали зв'язку між входами та виходами елементів, які наносять друкарським засобом. Елементний принцип побудови приладів дозволяв створювати любі одноконтурні та багатоконтурні релейні схеми, пристрої пневматичної телемеханіки з кодуванням та декодуванням сигналів, неперервні і дискретні регулюючі пристрої зі складними законами регулювання, системи оптимізації та комплексної автоматизації, які мали сотні і тисячі елементів.

В кінці 50-х років незалежно один від одного в СРСР та США були розроблені струминні елементи, основані на взаємодії потоків струменів між собою і з твердими стінками, і елементи, робота яких базувалась на ефектах прилипання струменя до профілю крила літака. Цей різновид пневмоавтоматики отримав назву пневмоніка. Струминні елементи аналогічні електронним приладам і виконують подібні функції. Вони мають дуже ма-

лі розміри, не мають рухомих та пружних деталей та дозволяють створювати підсилювальні елементи пропорційного та релейного типів з різними характеристиками, генератори, елементи пам'яті, тригери т.д., а також різні прилади неперервної та дискретної техніки, аналогові і цифрові обчислювальні та керуючі машини. Відсутність рухомих частин цих елементів визначають їх простоту, довговічність і достатню швидкодію, яка може досягати при виконанні операцій 2-3 кГц. Ще одна їх перевага – можливість виготовлення цих елементів у вигляді друкованих схем, які виготовляють методом штамповки, лиття, травлення на пластмасах, металах, керамічних матеріалах та склі. Їх недолік – використання повітря дуже високої чистоти та сухості. Елементи пневмоніки знаходять застосування в хімічній, нафтопереробній, газовій промисловості, енергетиці, верстатобудуванні, авіаційній та реактивній техніці, медицині і т.д.

В кінці 70-х – на початку 80-х років була створена система модульної пневмоавтоматики КЕМП, побудована також за елементним принципом. Елементи цієї системи мали значно менші розміри, більш широкі функціональні можливості та збирались із метало-пластикових деталей і лавсанових мембран. Однак широкого застосування ця система поки не знайшла.

За одиницю тиску в пневмоавтоматиці беруть $\text{Па} = \text{Н/м}^2$. Але також широко застосовується одиниця $1 \text{ кгс/см}^2 (1 \text{ кГ/см}^2) = 9.81 \times 10000 \text{ Па}$.

Крім того, при вимірюванні тиску застосовується одиниця $1 \text{ бар} = 1,02 \text{ кгс/см}^2$. Також при практичних вимірюваннях використовуються одиниці 1 мм рт. ст. , 1 мм вод. ст. та технічні (1 ат) і баричні (1 атм) атмосфери: $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 735,66 \text{ мм рт. ст.} = 9,80665 \times 10^4 \text{ Па} = 10^4 \text{ мм вод. ст.}$; $1 \text{ атм} = 1,033 \text{ ат} = 760 \text{ мм рт. ст.}$; $1 \text{ бар} = 750 \text{ мм рт. ст.}$; $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 10^6 \text{ дин/см}^2$; $1 \text{ мм рт. ст.} = 1333 \text{ дин/см}^2 = 133,3 \text{ Н/м}^2$.

камеру Б з атмосферою. В наступний момент часу стрибком подається тиск живлення $P_{\text{жив}} = 1,4 \text{ кгс/см}^2$ на вхід звуження, яке зветься дроселем α і тиск в камері Б починає збільшуватися по експоненціальному закону. Знизу на мембранний центр починає діяти сила зворотного зв'язку $N_{3.3}$. Коли ця сила порівняється з вхідною силою $N_{\text{вх}}$, мембранний блок прийде в стан рівноваги і, в наступну мить часу, трохи підніметься. Сопло, яке зв'язує камеру Б з атмосферою, відкриється і з цієї камери почне виходити повітря в атмосферу. Оскільки витрата повітря в камеру Б обмежена дроселем α , то рано чи пізно наступить ситуація, при якій скільки повітря входить в камеру Б, стільки буде і виходити. При цьому мембранний блок буде знаходитись в стані рівноваги, при якому сила зворотного зв'язку $N_{3.3}$ буде дорівнювати вхідній силі $N_{\text{вх}}$. Ця ситуація можлива тільки тоді, коли тиск в камері Б буде дорівнювати тиску в камері А, тобто $P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}}$. Таким чином, на виході буде повторюватися вхідний тиск, при якому буде виконуватись принцип компенсації сил: сила, яка діє вниз, буде скомпенсована силою, яка діє вгору.

б) Пневмоавтоматика сильфонно-важільних елементів

На рис. 2 представлено пристрій, який також працює за принципом компенсації сил, однак побудований на сильфонно-важільних елементах. Він працює наступним чином. Вхідна сила $N_{\text{вх}}$, прикладена до лівого кінця важеля, створює вхідний момент $M_{\text{вх}}$. Під дією цього моменту важіль починає обертатись за годинниковою стрілкою. При цьому, закріплена на протилежному кінці важеля стальна відполірована заслінка почне прикривати сопло перетворювача сопло-заслінка. У зв'язку з тим, що витрата повітря, яке живить сопло, обмежена дроселем α , тиск у вихідній лінії перетворювача сопло-заслінка $P_{\text{вих}}$ почне збільшуватись. Цей постійно зростаючий тиск буде поступати в сильфон зворотного зв'язку і буде діяти

на його ефективну площу $F_{\text{ЕФ}}$, створюючи силу зворотного зв'язку $N_{3.3}$ яка, в свою чергу, буде створювати момент зворотного зв'язку $M_{3.3} = bF_{\text{ЕФ}}P_{\text{ВИХ}}$ (див. рис. 2). Рівновага важільної системи буде тоді, коли момент зліва буде дорівнювати моменту справа, тобто $M_{\text{ВХ}} = M_{3.3}$. Оскільки пневматичний аналоговий сигнал має знаходитись в межах 0,02...1,0 МПа

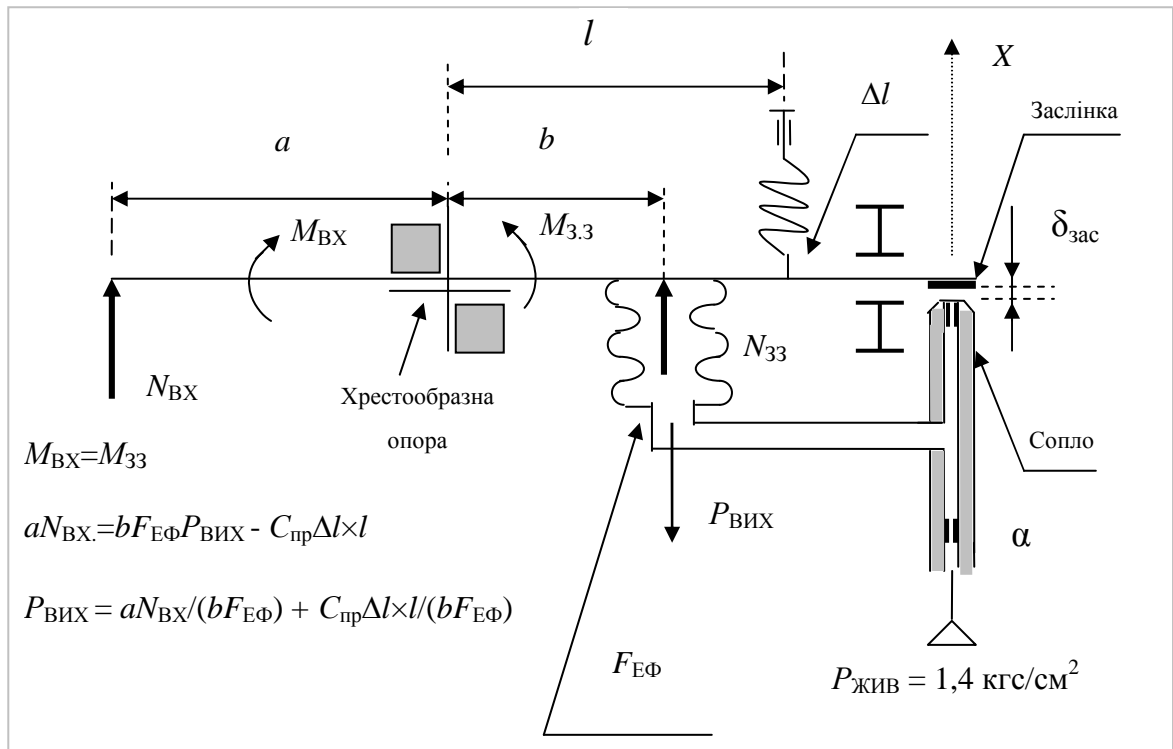


Рис. 2. Сильфонно-важільна система перетворення вхідної сили у стандартний уніфікований сигнал

(0,2...1,0 кгс/см²), то для настроювання пневматичного нуля, який має дорівнювати 0,02 МПа, в важільному пристрої є пружина, за рахунок натягу якої на величину Δl і налаштовують цей нуль. При цьому момент натягу, який створює ця пружина, буде дорівнювати $M_{\text{ПР}} = C_{\text{ПР}}\Delta l \times l$. Де $C_{\text{ПР}}$ – жорсткість пружини. Таким чином, рівняння рівноваги моментів буде виглядати так:

$$aN_{\text{ВХ}} = bF_{\text{ЕФ}}P_{\text{ВИХ}} - C_{\text{ПР}}\Delta l \times l.$$

З цього рівняння знаходять, як $P_{\text{ВИХ}}$ залежить від $N_{\text{ВХ}}$:

$$P_{\text{вих}} = aN_{\text{вх}} / (bF_{\text{эф}}) + (C_{\text{пр}}\Delta l \times l) / (bF_{\text{эф}}).$$

Верхня межа аналогового пневматичного сигналу, яка дорівнює 1 кгс/см^2 , задається відповідним підбором ефективної площі сильфона $F_{\text{эф}}$ та відповідним співвідношенням пліч важеля a і b .

Залежність, яка показує, як від переміщення заслінки відносно сопла змінюється тиск на виході перетворювача $P_{\text{вих}}(x)$, наведена на рис. 3. Де x – зазор між соплом і заслінкою, максимальне значення якого дорівнює $\delta_{\text{зас}} = 0,1 \text{ мм}$ ($0.08 \dots 0.15 \text{ мм}$).

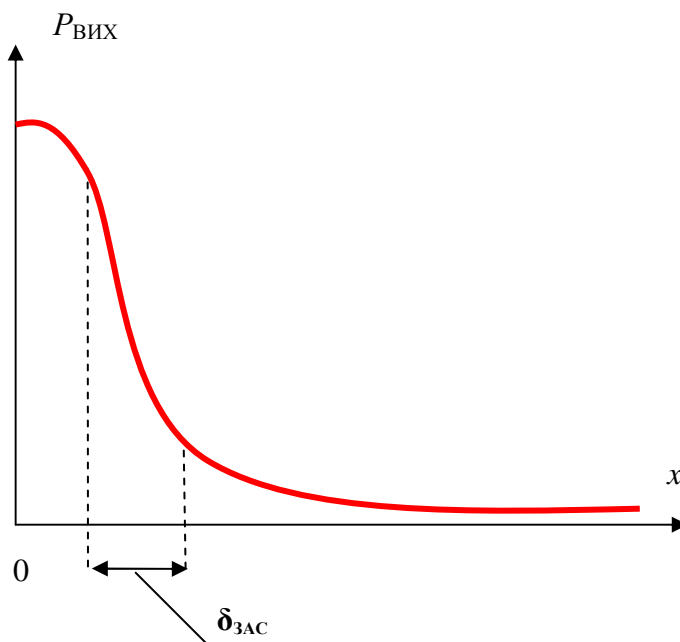


Рис. 3. Характеристика зміни тиску на виході перетворювача сопло-заслінка

Робочою є найбільш крутоспадаюча ділянка, яка, як уже було сказано, дорівнює $0,1 \text{ мм}$ ($0.08 \dots 0.15 \text{ мм}$).

Таким чином, цей перетворювач також працює за принципом компенсації сил, тільки тут момент зліва компенсується моментом справа.

3.2. Пневмоавтоматика, побудована за принципом компенсації переміщень

В пристроях пневмоавтоматики, які будуються за цим принципом, переміщення одного елемента компенсується переміщенням іншого. Спрощений приклад такого пристрою, який дозволяє пояснити принцип роботи, наведено на рис. 4.

Працює такий пристрій наступним чином. Заслінка, наближаючись до сопла, зменшує зазор між соплом і заслінкою. Це зменшення зазору приводить до зменшення скидання повітря в атмосферу із внутрішньої порожнини циліндра через сопло. А це, в свою чергу, викликає збільшення тиску у внутрішній порожнині циліндра $P_{\text{вих}}$, який, діючи на ефективну площу поршня, створює вхідну силу $N_{\text{вх}}$. Ця сила змушує зміщуватись поршень,

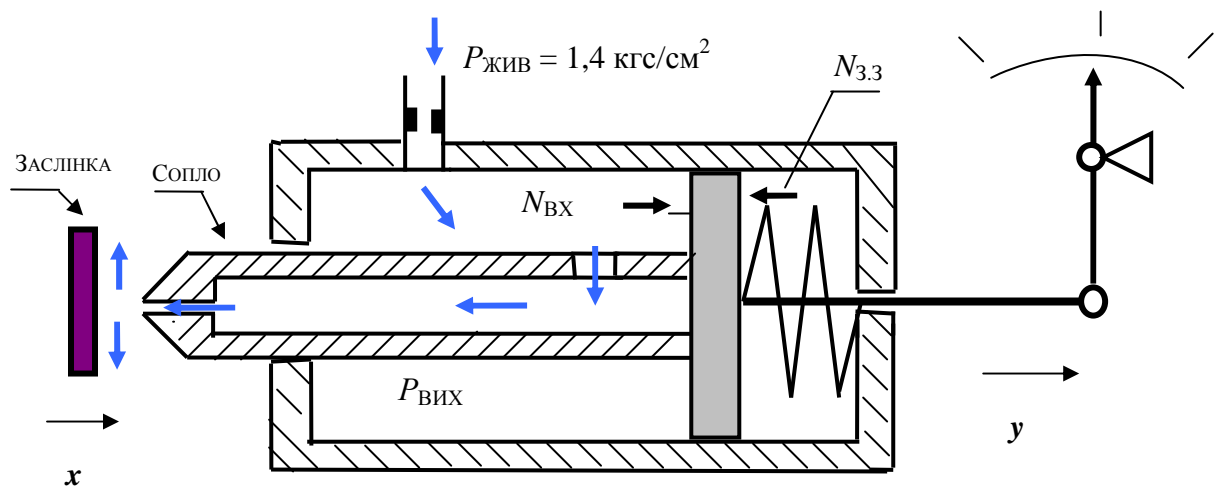


Рис. 4. Пристрій, який працює за принципом компенсації переміщень

стискаючи пружину зворотного зв'язку. В той час, коли пружина стиснеться до зусилля зворотного зв'язку $N_{\text{зз}} = N_{\text{вх}}$, рух поршня зупиниться. При цьому сопло трохи відсунеться від заслінки. Якщо в наступний момент часу заслінку знову наблизити до сопла, то буде відбуватись те саме: тиск у внутрішній порожнині циліндра знову збільшиться і поршень зміститься

на нову відстань. Таким чином, переміщення заслінки на відстань x викликає переміщення поршня на відстань y .

Переміщення поршня може фіксуватись при допомозі спеціального відлікового пристрою. Як було сказано вище, приведена конструктивна схема дозволяє пояснити фізичні процеси в пристроях, які працюють за принципом компенсації переміщень.

Однак на практиці застосовуються конструктивні схеми дещо іншого виду. Приклад такої схеми представлено на рис. 5. Цей пристрій працює так. При переміщенні заслінки на відстань x прикривається сопло перетворювача сопло-заслінка, живлення якого обмежено дроселем α . При цьому важіль, на якому закріплена заслінка, буде обертатись навколо осі обертання, яка знаходиться на рухомій осі, зв'язаній з сифоном. Тиск на виході цього перетворювача зросте і буде надходити в герметично закриту камеру керування, в якій знаходиться сифон, зміщення дна якого і викличе зміщення осі обертання важеля. Сифон починає стискатись і його дно переміщається на відстань y ,

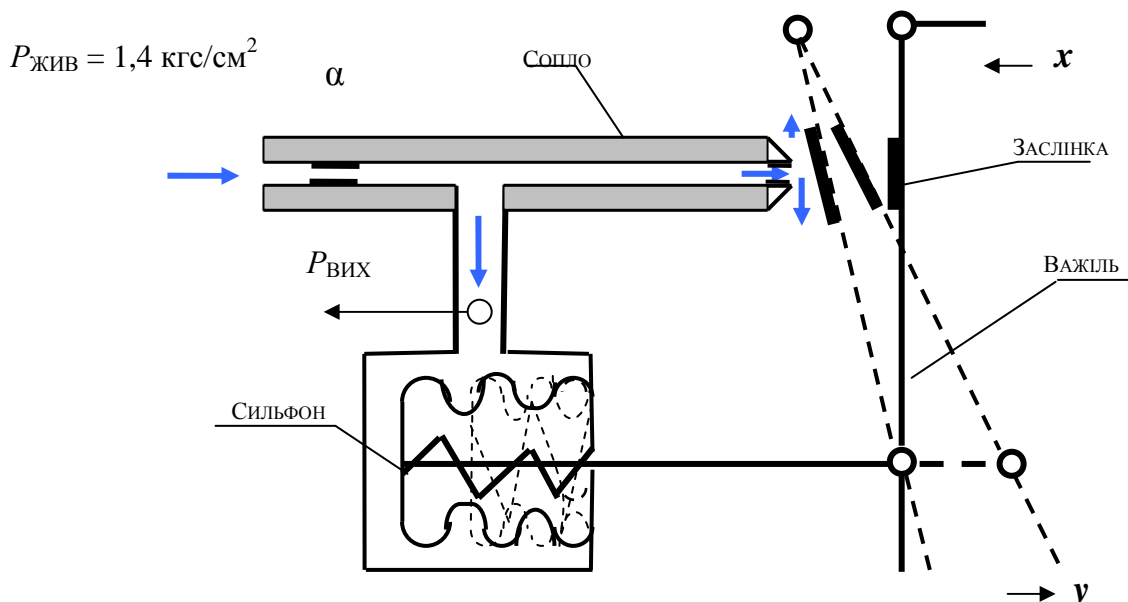


Рис. 5. Реальна схема пристрою, який працює за принципом компенсації переміщень

переміщуючи також на відстань y вісь обертання важеля, на якому закріплено заслінку, що прикриває сопло. Заслінка дещо відсунеться і трохи відкриє сопло. В результаті цього вихід повітря із сопла в атмосферу трохи збільшиться і вихідний тиск буде мати значення, пропорційне переміщенню x .

Таким чином, переміщення одного кінця важеля на відстань x буде відповідати переміщенню другого кінця важеля на відстань y , тобто переміщення x буде компенсуватись переміщенням y . Слід зауважити, що момент рівноваги дна сільфона наступає тоді, коли сила, створена вихідним тиском $P_{\text{вих}}$ і яка діє на дно сільфона буде зрівноважена силою стискування пружини зворотного зв'язку.

3.3. Пневмоавтоматика, побудована на струминних та аеродинамічних ефектах – пневмоніка

Приклад роботи пристрою, який працює на ефекті прилипання струї до стінки може бути представлено наступним чином. Струмін повітря (див.рис. 6), який витікає із сопла живлення 1, попадає на профіль крила літака 4.

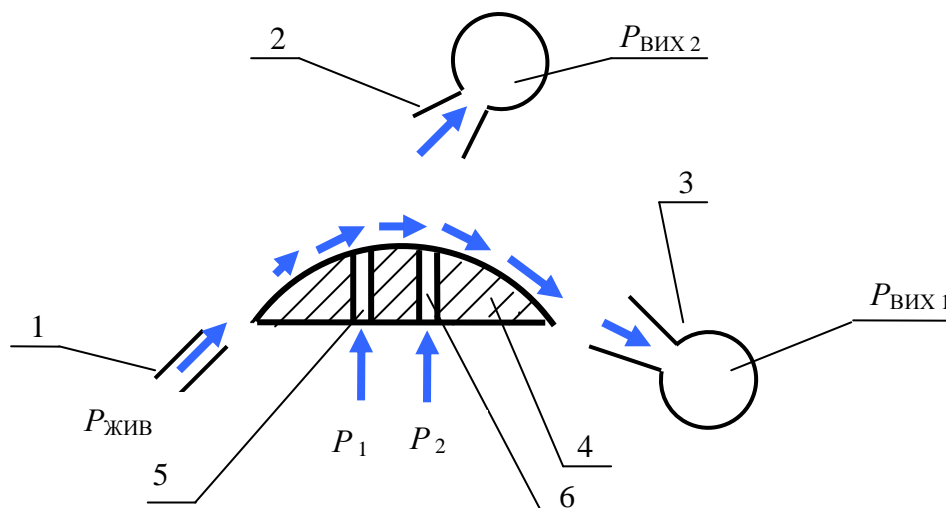


Рис. 6. Елемент пневмоніки «І», який працює на ефекті прилипання струменя повітря до стінки

Якщо керуючі тиски P_1 і P_2 , які поступають в канали керування 5 і 6, відсутні, то струмінь повітря, який набігає, прилипає до профілю крила літака 4 і далі попадає в приймальне сопло 3, в якому формується вихідний тиск $P_{\text{вих } 1}$. Такий самий ефект буде, якщо в керуючі канали поступає тільки одно із керуючих тисків P_1 чи P_2 . При цьому в соплі 3 буде реалізована логічна операція «Штрих Шеффера», при якій вихідний сигнал буде дорівнювати логічній «1», якщо обидва вхідних сигнали чи хоч один з них являється логічним «0». Якщо ж обидва керуючих тиски P_1 і P_2 існують, то відбудеться відрив струменя, що набігає, від профілю літака і струмінь повітря попаде в приймальне сопло 2, в якому сформується вихідний тиск $P_{\text{вих } 2}$, що дорівнює логічній «1». В цьому випадку буде реалізовано логічну операцію «І», при якій на виході 2 буде логічна «1» тільки тоді, коли на обох керуючих входах будуть також логічні одиниці. Якщо ж на якомусь із входів буде «0» або нулі будуть на обох входах, то на виході 2 буде «0».

На рис. 7 наведено пристрій, який реалізує операцію «АБО», але побудовану на струминному реле.

В цій операції $P_{\text{вих } 2} = 1$ тоді, коли хоча б один із сигналів P_1 чи P_2 були рівні «1». В цьому випадку реалізується операція «АБО». Якщо ж оба ці сигнали дорівнюють «0», то в цьому випадку реалізується операція «Стрілка Пірса», при якій $P_{\text{вих } 2} = 0$, а $P_{\text{вих } 1} = 1$.

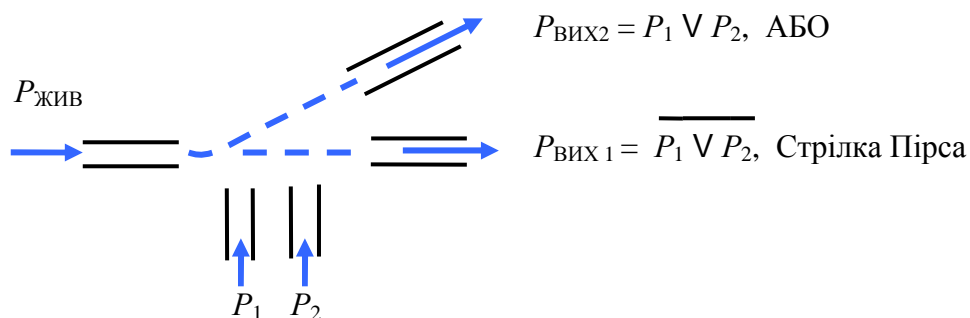


Рис. 7. Пристрій, який реалізує операцію «АБО», побудований на струминному реле

3.4. Пневмоавтоматика логічних операцій, побудована на золотникових (поршневих пневмореле), кулькових, одномембранних та інших елементах

На рис. 8 представлена схема реалізації операції «І» на поршневому (золотниковому) пневмореле.

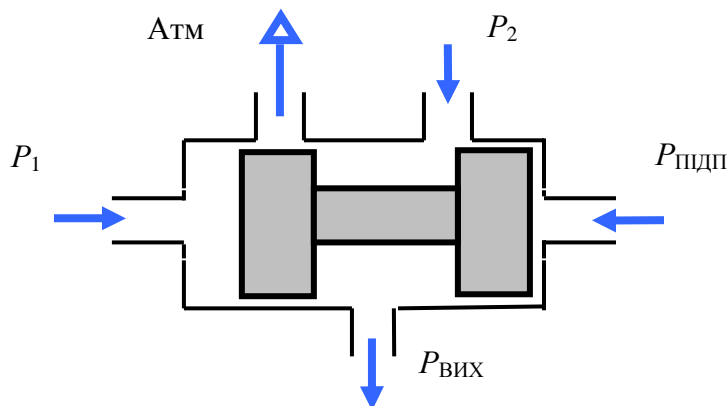


Рис. 8. Операції «І» на поршневому (золотниковому) пневмореле

В наслідок того, що поршень не може повертатись в початковий стан після спрацювання самостійно, в реле вмонтовується або пружина, яка задає початкове положення поршня, або в керуючу камеру подається тиск підпору $P_{\text{підп}}$.

Так як в наведеному прикладі для формування вихідного тиску $P_{\text{вих}}$ використовується енергія стисненого повітря, взята безпосередньо із самих сигналів P_1 і P_2 , то така операція «І» називається операція «І» (пасивно).

Ще одна операція «І» показана на рис. 9. Цю операцію виконано на кулькових пневмореле. Особливістю кулькових пневмореле є те, що вони мають невеликі розміри. В деяких випадках кулькаві елементи можуть досягати $\sim 0,2$ мм. Для збільшення швидкодії система з кулькаовими пневмореле використовує збільшений тиск живлення $(5 \div 7) \times 10^5$ Па.

Працює кулькаове пневмореле наступним чином. При подачі сигналу, який дорівнює «1», на вхід 1 кулька щільно перекриває сопло входу 4 і

вхідний тиск поступає на вихід 2. При цьому сигнал на виході 3 дорівнює «0».

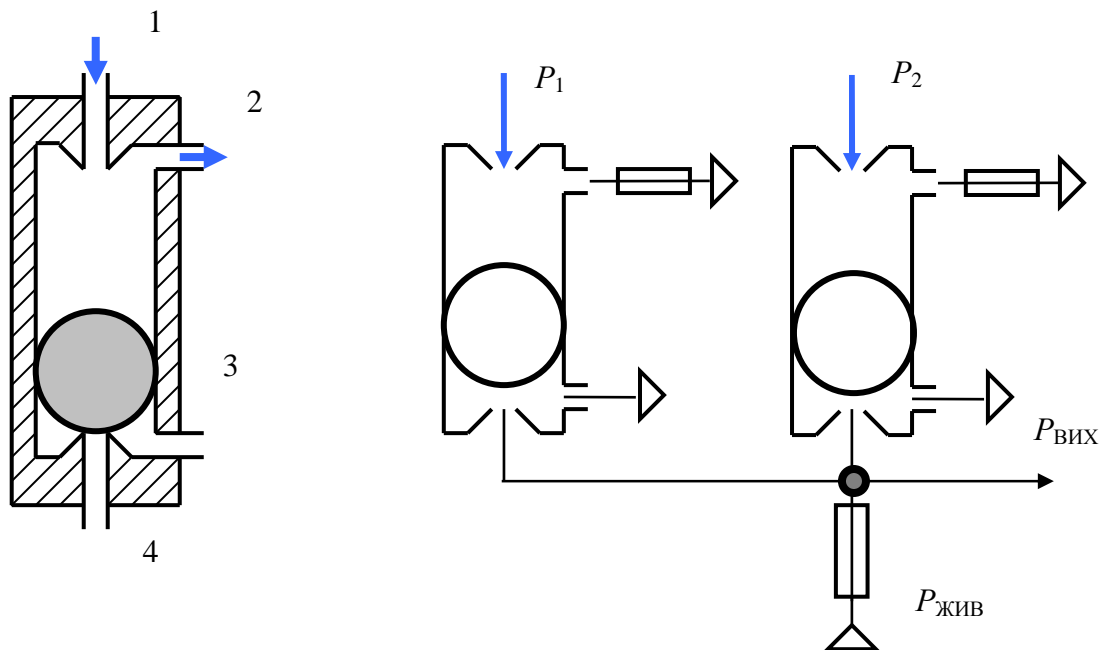


Рис. 9. Реалізація логічної операції «І» на кулькових реле

При подачі сигналу на вхід 4 кулька миттєво перекидається в протилежний кінець циліндра, щільно притискаючись до сопла входу 1. При цьому на виході 3 з'явиться сигнал «1», а на виході 2 – сигнал «0». Для реалізації різних логічних операцій кулькові реле зазвичай використовуються у поєднанні з пневматичними опорами.

На рис. 10 наведена конструкція і схема реалізації операції «І», яка виконана на одномембранному пневмореле.

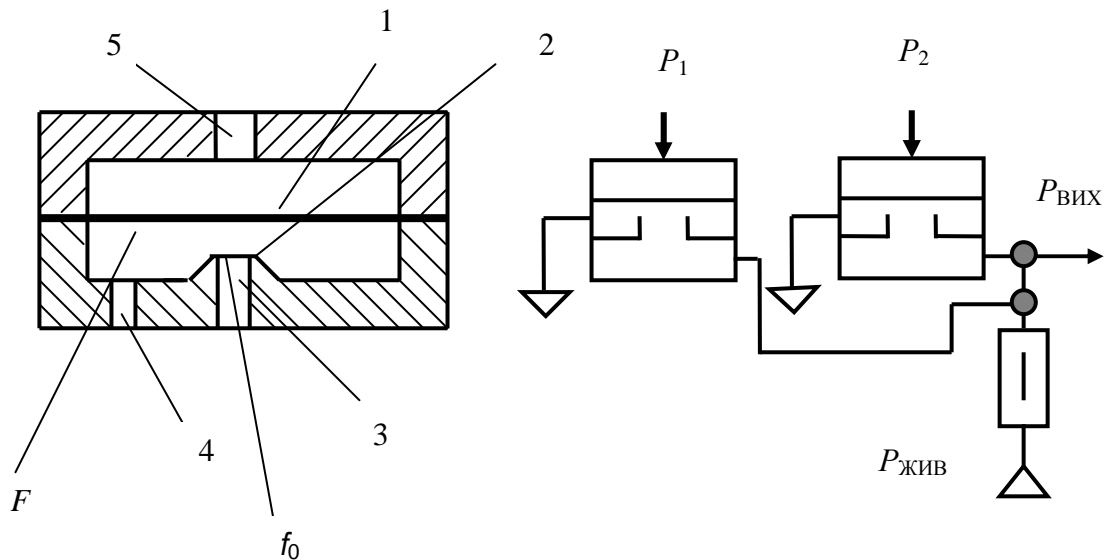


Рис. 10. Операція «І», яка виконана на одномембранному пневмореле

У одномембранних пневматичних реле використовується тільки одна мембрана, в них нема пружин і склеєних деталей. Ці реле допускають виготовлення схем друкарським способом. Такі реле складаються із двох деталей корпуса і зажатої між ними гумотканевої рухомої мембрани 1. Пневматичний контакт створюється рухомою мембраною 1 та сідлом 2. Виготовити ці реле можна методом штамповки в плитах із металу чи пластмаси. Реле мають два стани, які визначаються положенням мембрани 1. При наявності сигналу, який поступає через канал 5, канали 3 і 4 роз'єднані, а при відсутності цього сигналу – з'єднані. Недоліком таких схем є безперервне використання повітря із лінії живлення та деяка інерційність, викликана наявністю в схемах аперіодичних ланок. Указаних недоліків позбавлені двопровідні схеми включення пневматичних реле, у яких кожна вхідна змінна представлена двома сигналами, які поступають до логічних елементів по двом лініям, інверсним за своїм значенням. Прикладом таких схем може бути схема реалізації логічної операції «НІ», яка представлена на рис. 11.

Тут інформація про змінну подається одночасно по лініям 1 і 2. Коли сигнал P_1 на лінії 1 дорівнює «1», то на лінії 2 сигнал \bar{P}_1 буде дорівнювати «0», який є запереченням сигналу P_1 . В такій схемі повітря на вихід буде проходити тільки тоді. Якщо ж $P_1 = 0$, то у вихідну лінію повітря проходити не буде.

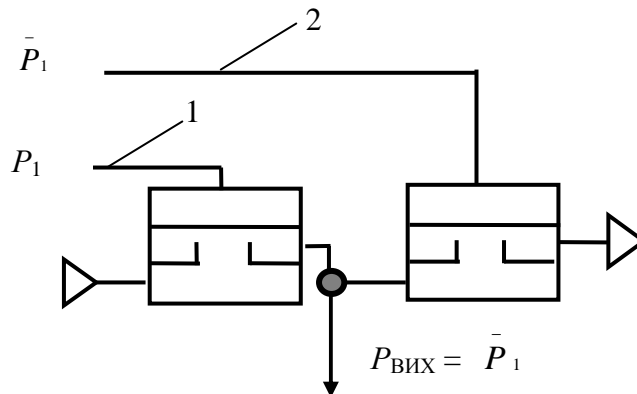


Рис. 11. Двопровідна схема реалізації логічної операції «НІ»

В вище розглянутих схемах використовується реле з закріпленою мембраною, яка при дії повітря деформується. Існують також пневматичні реле з так званою вільною мембраною, яка не закріплена жорстко і здатна вільно переміщатись. Така мембрана може виготовлятися більш жорсткою, що дозволяє зменшити розміри елементів, зробити їх більш надійними та швидкодіючими. Недолік – відсутність повної герметизації між вхідною і проточною камерами в момент спрацьовування і безперервна витрата повітря.

Одну із конструкцій реле із вільною мембраною показано на рис. 12. В замкнутому об'ємі, який створено плитами 3 і 4, вільно розташовано мембрану 2. Реле має три канали: 1 – керуючий, а один з каналів 5 чи 6 з'єднано з вихідним каналом (другий канал в залежності від функції реалізації сполучається або з лінією живлення, або з атмосферою).

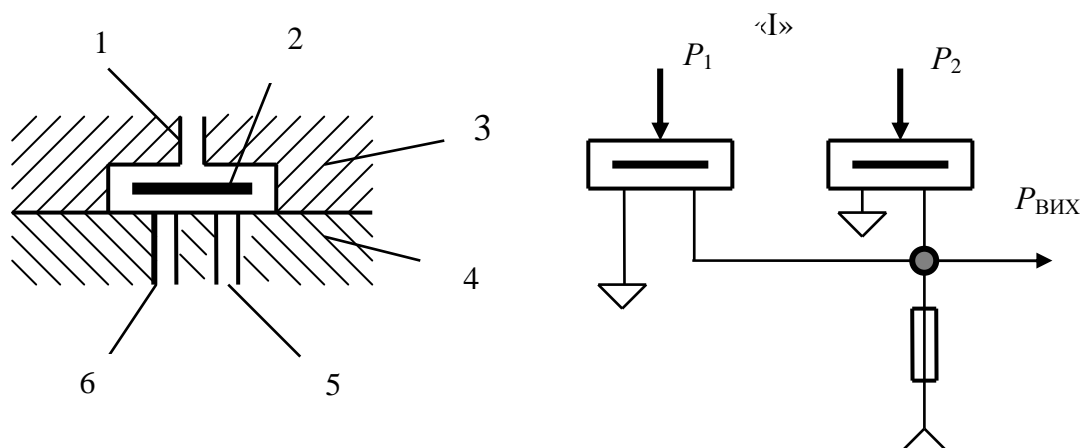


Рис. 12. Операція «І», виконана на реле з вільною мембраною

Логічна схема, яка реалізує операцію «І», працює наступним чином. При наявності сигналів P_1 і P_2 мембрани обох елементів щільно притиснуті до нижніх отворів і на виході формується високий рівень сигналу, який відповідає логічній «1». Якщо ж якийсь із керуючих сигналів P_1 чи P_2 буде відсутнім, то вихідна лінія буде сполучатись через любий із двох каналів 6 з атмосферою і на виході буде формуватись логічний «0».

На основі реле з вільною мембраною створена система пневматичних елементів релейної автоматики («ПЕРА»), яка складається із чотирьох спеціальних елементів для реалізації функцій ТАК, НІ, І, АБО.

Приклад елемента, який реалізує функцію «І», наведено на рис. 13.

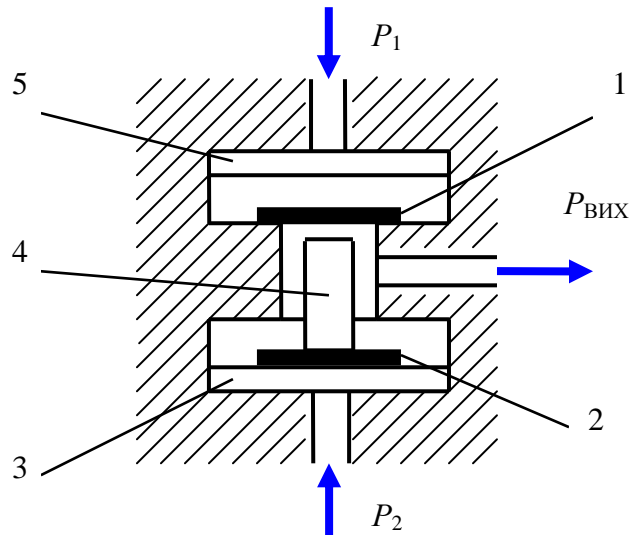


Рис. 13. Елемент системи «ПЕРА», який реалізує функцію «І»

Елемент системи «ПЕРА», який реалізує функцію «І», складається із двох однакових камер з розташованими в них над канавками 5 і 3 мембранами 1 і 2. Між мембранами знаходиться рухомий стержень 4, довжина якого вибрана так, що при подачі вхідних тисків P_1 і P_2 , які дорівнюють «1», обидві мембрани не можуть одночасно закрити отвори центрального каналу, з'єднаного з виходом. При наявності тільки одного із тисків P_1 чи P_2 сигнал на виході елемента буде дорівнювати «0». І тільки у випадку, якщо $P_1 = P_2 = \text{«1»}$, сигнал на виході буде дорівнювати $P_{\text{вих}} = \text{«1»}$. Потужність вихідного сигналу визначається потужністю якого-небудь із вхідних сигналів, тобто елемент виконує операцію «І» пасивно.

В системі елементів «УСЕППА» логічні операції реалізуються за допомогою тримембранного реле ПІР.1, відображеного на рис. 14. Таке реле складається із корпусу 1, поділеного трьома мембранами 2 на чотири камери А, Б, В і Г. Зверху та знизу кожна мембрана притиснута мембранними дисками (центрами) 3 і 4. Конструктивно мембранні центри 3 мають малу ефективну площу f , а мембранний центр 4 – велику F . Крім того, мембрани натягнуто не суцільним натягом, а з гофром.

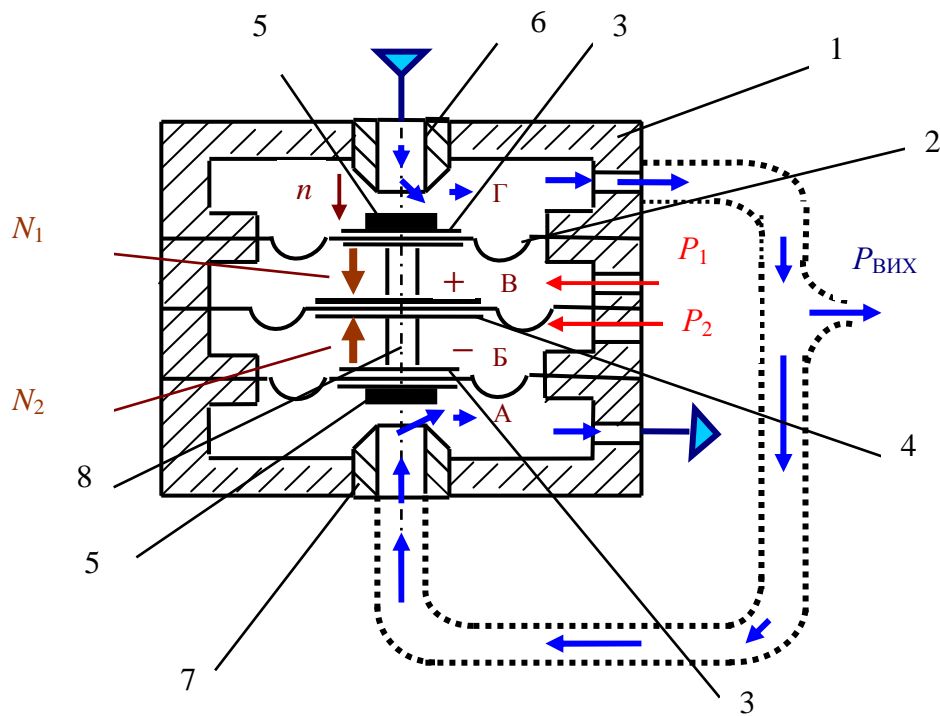


Рис. 14. Тримембранне реле ПІР.1

Це – так звані «в'ялі мембрани». Завдяки цьому гофру мембрани здатні переміщатись вгору або вниз на величину робочого ходу, який визначається розмірами гофру та пружними властивостями мембрани. Між собою мембранні центри зв'язані за допомогою стержня 8, завдяки чому створюється рухомий мембранний блок. До верхнього та до нижнього мембранних центрів прикріплені гумові заслінки 5, здатні надійно відкрити або надійно закрити верхнє сопло живлення 6 и нижнє сопло скидання повітря в атмосферу сопло 7. Діаметри цих сопел великі – порядку 3 мм, що дозволяє через них пропускати великі маси повітря і використовувати реле в якості підсилюючого елемента. Камери Б і В – глухі, а камери А і Г – проточні. Якщо в камеру В завести тиск P_1 , то він буде впливати як на верхню мембрану, яка знаходиться між камерами В і Г, так і на нижню, яка знаходиться між камерами В і Б. Оскільки ефективна площа мембрани f , яка знаходиться між камерами В і Г менше ефективної площі мембрани F ,

яка знаходиться між камерами В і Б, то виникаюча ефективна рівнодіюча двох сил $N_1 = P_1(F - f)$ буде спрямована до низу. Під дією цієї рівнодіючої N_1 весь мембранний блок переміститься вниз, при цьому верхня гумова заслінка 5 повністю відкриє верхнє сопло живлення 6, а нижня гумова заслінка 5 повністю закриє нижнє сопло скидання повітря в атмосферу 7. Завдяки тому, що у верхній камері Г при русі мембранного блока вниз буде з'являтися вихідний тиск $P_{\text{вих}}$, а у камері А при любых обставинах буде атмосферний тиск, то в цій камері (камері Г) буде виникати так звана сила додатного зворотного зв'язку n , яка буде прискорювати процес руху мембранного блока вниз. Завдяки цій силі верхнє сопло живлення надійно відкриється, а нижнє – надійно закриється. Поява цієї сили можлива завдяки так званій релейній схемі включення реле. Ця релейна схема характеризується тим, що вихідна лінія сполучається з верхнім боковим проточним отвором і нижнім соплом. При такій схемі включення в верхній камері Г буде по чергово з'являтися тиск живлення, який викликає по чергову появу сили n , а в камера А завжди буде атмосферний тиск.

Якщо тепер в камеру Б подати тиск P_2 , то він викличе силу N_2 , яка дорівнює $N_2 = P_2(F - f)$, але направлену вгору. Однак рух мембранного блока почнеться вгору тільки тоді, коли дія цієї сили буде перевищувати дію двох сил: сили N_1 та сили додатного зворотного зв'язку n . По мірі руху мембранного блока вгору дія сили додатного зворотного зв'язку n буде лавиноподібно зменшуватись, що, в свою чергу, викличе рух мембранного блока з прискоренням. При цьому виникне ефект дії сили додатного зворотного зв'язку вгору (у від'ємну сторону). Завдяки цьому ефекту верхнє сопло живлення надійно закриється, а нижнє – відкриється.

Розглянуті надійні спрацьовування реле можливі завдяки релейній схемі включення реле. При звичайній схемі включення, коли з'єднуються між собою бокові верхнє і нижнє проточні отвори, можливе зависання

мембранного центру реле між соплами, що викликає ефект короткого замикання в пневмоавтоматиці. Це може привести до різкого падіння тиску в лінії живлення на виробництві при великій кількості одночасно працюючих реле.

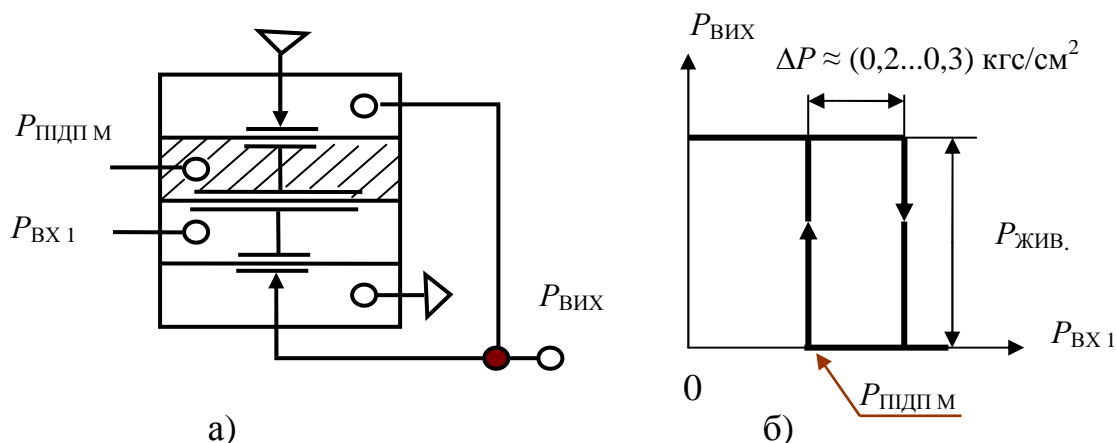


Рис. 15. Зображення пневматичного реле на принципових схемах:
а) – зображення на пневматичних схемах; б) – петлеподібна статична характеристика

На принципових пневматичних схемах таке реле представляється наступним чином (дивись рис. 15).

На рис. 15 а момент початку руху мембранного блоку вниз визначається з наступної умови:

$$P_{\text{ПДП. М}}(F - f) \geq P_{\text{ВХ 1Н}}(F - f). \quad (1)$$

Де $P_{\text{ВХ 1Н}}$ – вхідний тиск, при якому мембранний блок перекидається (починає рухатись) до низу.

При цьому тиск на виході $P_{\text{ВЫХ}}$ змінюється від «0» до «1» кгс/см². Тиск малого підпору $P_{\text{ПДП. М}}$ зазвичай вибирають рівним $(0,3...0,4) \times P_{\text{ЖИВ.}}$. Момент же переміщення мембранного блоку вгору визначається де-що по іншому:

$$P_{\text{ПДП. М}}(F - f) + P_{\text{ЖИВ.}} f \leq P_{\text{ВХ 1В}}(F - f). \quad (2)$$

Де $P_{\text{ВХ 1В}}$ – вхідний тиск, при якому мембранний блок переміщується вгору.

Це пояснюється тим, що на верхній малий мембранний блок в початковий момент перекидання центру буде діяти тиск живлення. При цьому тиск на виході $P_{\text{вих}}$ буде змінюватись від «1» до «0» кгс/см². Із двох останніх рівнянь можна знайти, чому дорівнює ширина зони неоднозначності (ширина петлеподібної статичної характеристики) ΔP , яка показана на рис.15 б.

$$\Delta P = P_{\text{вх. 1в}} - P_{\text{вх. 1н}} = P_{\text{жив}} f / (F - f). \quad (3)$$

За експериментальними даними ширина петлеподібної статичної характеристики ΔP , яка наведена на рис. 15 б, зазвичай дорівнює (0,2...0,3) кгс/см². ΔP – це такий тиск, при заведенні якого в додатну камеру реле з великим мембранным центром F створюється зусилля, еквівалентне зусиллю, яке виникає від дії тиску живлення $P_{\text{жив}}$ на малий мембранный центр f .

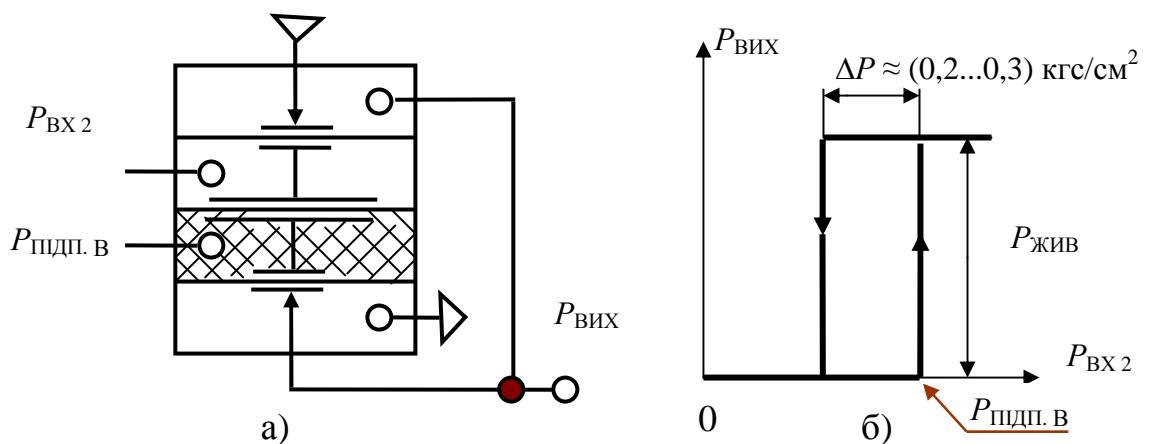


Рис. 16. Пневматичне реле з подачею вхідного сигналу у додатну камеру:
а) – схематичне принципове зображення; б) – петлеподібна характеристика

Для схеми, яка наведена на рис. 16 а, умови перекидання мембранного блоку будуть наступними. При русі мембранного блоку вниз умова переключення виглядає так:

$$P_{\text{вх. 2в}}(F - f) \geq P_{\text{пдп.в}}(F - f). \quad (4)$$

Тут $P_{\text{підп в}}$ – тиск великого підпору величиною $(0,7 - 0,8) \times P_{\text{жив}}$. Він зазвичай показується подвійною штриховкою. Тиск же малого підпору $P_{\text{підп м}}$ зазвичай показується одинарною штриховкою. Перемикання мембранного блока вверх буде відбуватись тоді, коли

$$P_{\text{вх.2н}}(F - f) \leq P_{\text{підп в}}(F - f) - P_{\text{жив}}f. \quad (5)$$

Це пояснюється тим, що при знаходженні мембранного блока в нижнім положенні на його верхній мембранний центр буде діяти тиск живлення $P_{\text{жив}}$. Таким чином, різниця між верхнім $P_{\text{вх 2в}}$ і нижнім $P_{\text{вх 2н}}$ значеннями вхідного сигналу, при яких відбувається перемикання мембранного блока реле, знову визначається наступним виразом:

$$\Delta P = P_{\text{вх. 2в}} - P_{\text{вх. 2н}} = P_{\text{жив}}f / (F - f). \quad (6)$$

В алгебрі Джорджа Буля є чотири основні логічні операції: операція повторення «ТАК»; операція заперечення або інверсія «НІ» («НЕ ТАК»); операція логічного множення або кон'юнкція «І» та операція логічного підсумовування або диз'юнкція «АБО». Виконання цих операцій на елементі системи УСЕППА П1Р.1 показано на рис. 17, 18, 19 і 20.

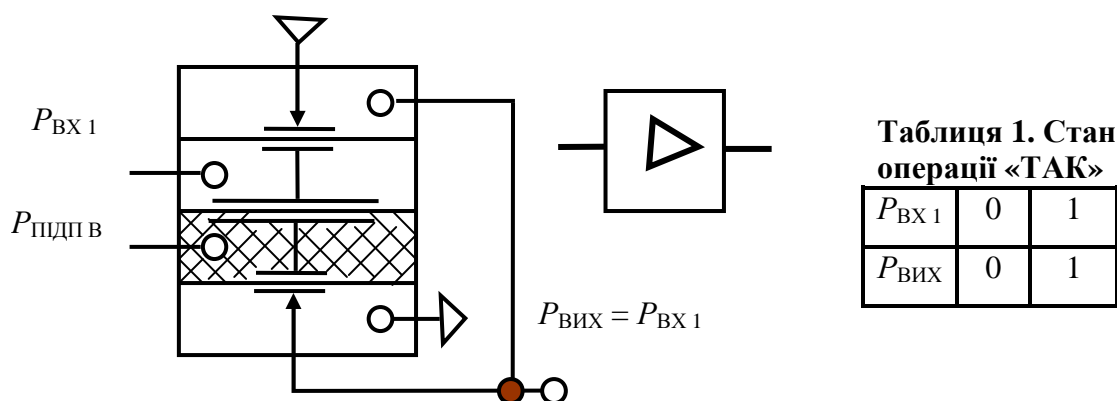


Рис. 17. Операція повторення «ТАК»

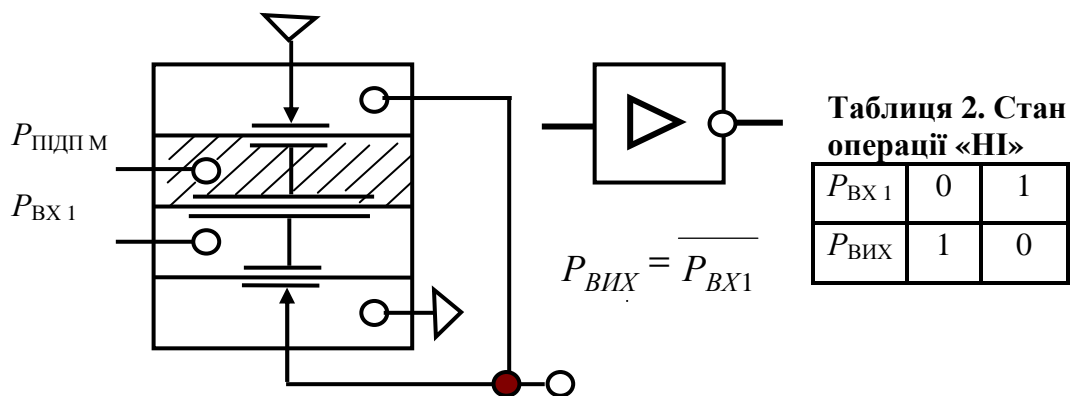


Рис. 18. Операція заперечення або інверсія «НІ» («НЕ ТАК», «ЗАПЕРЕЧЕННЯ»)

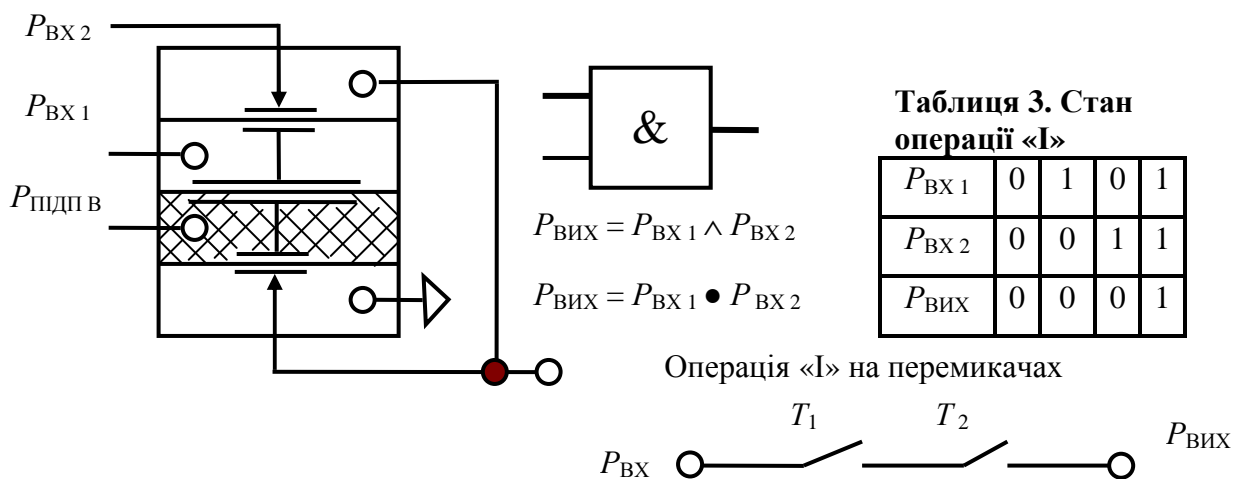


Рис. 19. Операція логічного множення або кон'юнкція «І»

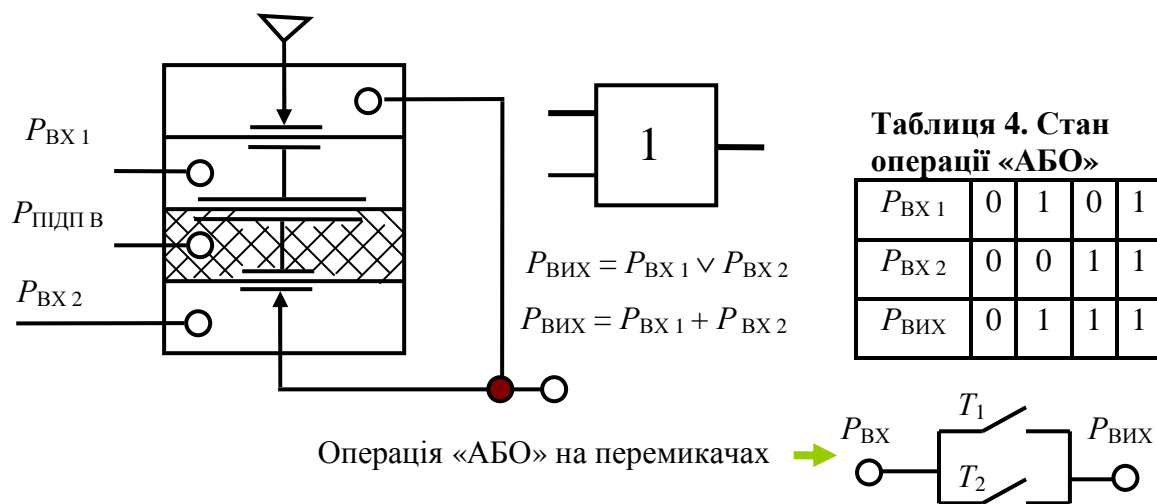


Рис.20. Операція логічного підсумовування або диз'юнкція «АБО»

Всі інші операції, які можна створити на елементах цієї системи, будуть розглянуті далі.

Наведемо ще один приклад реалізації логічних операцій на інтегральному пневматичному модулі ПІМІ системи елементів «КЕМП» («комплекс елементів та модулів пневмоавтоматики»).

Модуль ПІМІ складається із двох секцій, кришки, основи, прогумованих тканинних та металічних прокладок. Секція та прокладки створюють єдину конструкцію, яка включає в себе чотири незалежних клапани елемента (рис. 21), кожен з яких може виконувати одну із функцій: «заперечення», «заборони», «імплікації». Кожен елемент складається із прогумованої тканинної мембрани 9, штока 8, двох сопел 5,7 та розташованого між ними диска 6.

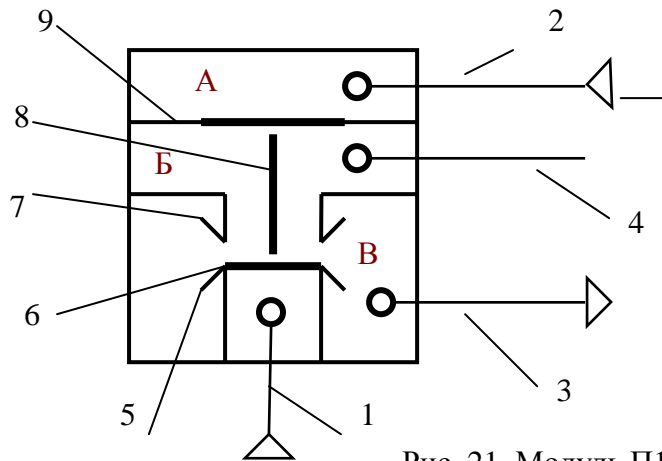
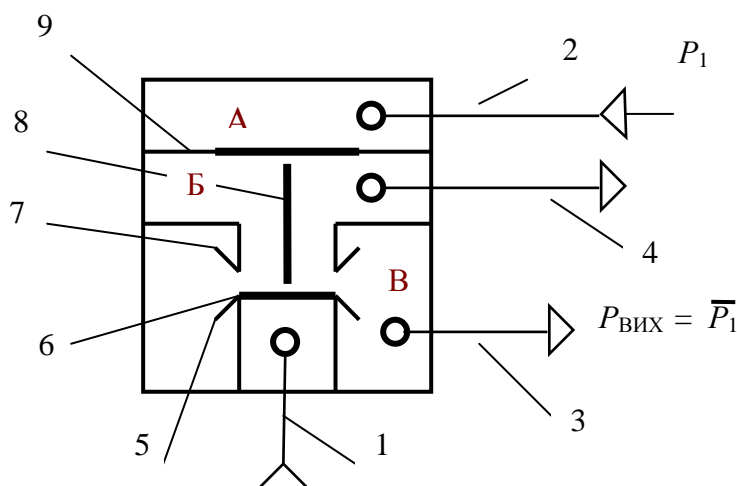


Рис. 21. Модуль П1МИ

Тиск живлення подається в сопло 5, вхідні сигнали подаються в камери А та Б («імплікація») або тільки в камеру А («заперечення», «заборона»). В останньому випадку камера Б сполучається з атмосферою. При подачі вхідного сигналу по каналу 2 в камеру А мембрана 9 прогинається і переміщує шток 8 в сторону сопла 5, диск 6 під дією штока перекриває сопло 5 та відкриває сопло 7, з'єднуючи канал 3 з каналом 4. При відсутності вхідного сигналу в камері А диск під дією тиску живлення перекриває сопло 7, в наслідок чого канал 1 сполучається з каналом 3.

Можливі схеми включення кожного елемента модуля наведені нижче.



Таблиця 5. Стан операції «НІ» (заперечення, інверсія)

P_1	0	1
$P_{\text{вих}}$	1	0

Рис. 22. Операція «НІ»

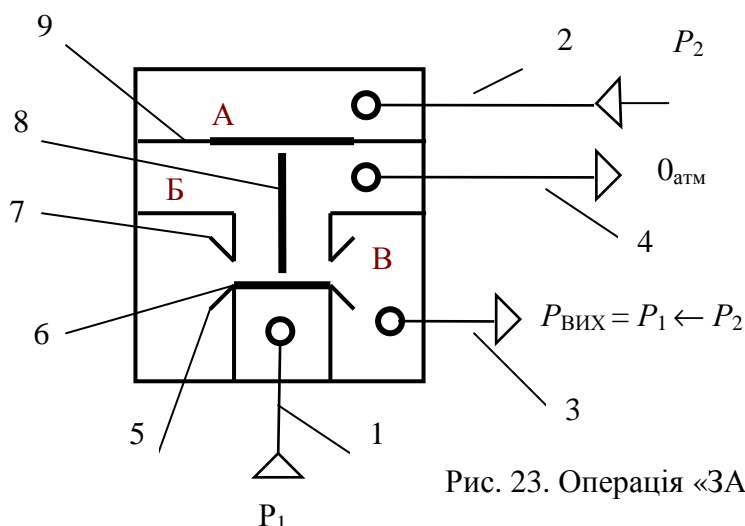


Рис. 23. Операція «ЗАБОРОНИ»

Таблиця 6. Стан операції «ЗАБОРОНИ»

P_1	0	1	0	1
P_2	0	0	1	1
$P_{\text{вих}}$	0	1	0	0

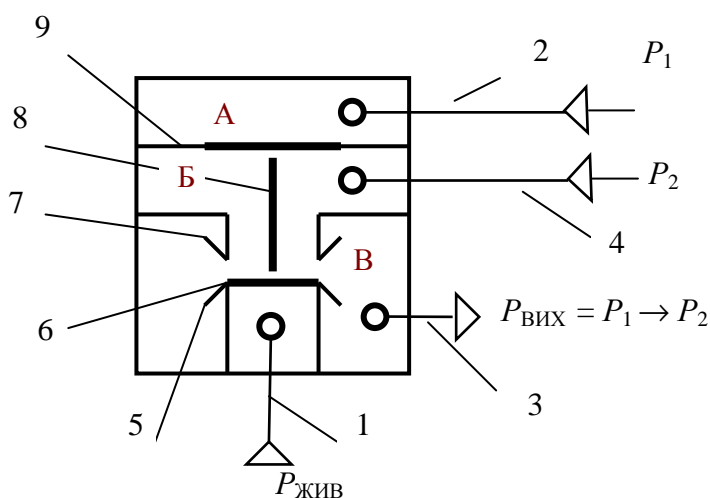


Рис. 24. Імплікація

Таблиця 7. Стан операції «ІМПЛІКАЦІЯ» («ЯКЩО, ТО»)

P_1	0	1	0	1
P_2	0	1	1	0
$P_{\text{вих}}$	1	1	1	0

3.5. Робота блоку вимірювання вторинних приладів системи «СТАРТ»

При проведенні багатьох технологічних процесів широко використовуються вторинні прилади системи «СТАРТ» типу ПВ (в сучасний час ФК), які сприймають інформаційний сигнал у вигляді стандартного пневматичного сигналу в діапазоні $0,2 \dots 1,0 \text{ кгс/см}^2$. Це прилади типу ПВ1.1, ПВ2.2, ПВ3.2 (ФК.0072), ПВ4.4Е, ПВ10.1Е (ФК.0071), ПВ10.1П, ПВ10.2Е, ПВ10.2П та інші. Ці прилади можуть застосовуватись як для вимірювання різноманітних технологічних параметрів, так і для ведення процесу регулювання, якщо їх оснащено станцією керування та регулятором, який може

бути прикріпленим до задньої стінки приладів (це прилади ПВ3.2, ПВ10.1Е (ФК.0071), ПВ10.1П, ПВ10.2Е, ПВ10. 2П). Основним елементом цих приладів є блок вимірювання (або блоки вимірювання, якщо це багатошкальний прилад). Конструктивна схема цього блоку наведена на рис. 25. Працює цей блок наступним чином.

Вхідний сигнал $P_{\text{вх}}$ у вигляді стандартного пневматичного сигналу в діапазоні $0,2 \dots 1,0 \text{ кгс/см}^2$ поступає на вхід сильфона 1, створюючи вхідну силу $N_{\text{вх}}$. Ця сила діє на важіль 2 і змушує його обертатись навколо пружної опори 3. Внаслідок цього заслінка перетворювача сопло-заслінка 4 наближається до сопла, затуляючи його і збільшуючи тиск в пневматичній лінії 5. Цей тиск, який формується завдяки вхідному дроселю живлення α (дросель 6), поступає далі в спеціальну кулеподібну опору 7 і, діючи на мембрану цієї опори, змушує її важіль обертатись навколо плоскої пружинної опори 8, створюючи силу опори $N_{\text{оп}}$. Обертаючись, важіль тягне тросоподібну нитку-тягу з закріпленою на ній пружиною зворотного зв'язку 10. Друга частина цієї нитки прикріплена до важеля блоку вимірювання та другого кінця пружини 10. Крім того, на цій нитці закріплено перо самописця зі стрілкою 9 для показу значення вимірюваного параметра та запису його на стрічкову діаграму, яка приводиться в рух (протягується) синхронним двигуном 11 (електричним, якщо в позначенні приладу остання буква Е, або пневматичним, якщо це буква П). Таким чином, вхідний момент, створений вхідним сильфоном 1 та важелем 2 урівноважується спеціальною шароподібною опорою з важелем 7 та пружиною зворотного зв'язку з ниткою-тягою 10, яка, будучи закріпленою на кінці важеля 2, створює момент компенсації. Шкали приладів градуюють і відсотках від 0 % до 100 %, або у кгс/см^2 у межах від $0,2 \text{ кгс/см}^2$ до $1,0 \text{ кгс/см}^2$. Якщо ж виникає потреба вимірювання витрат, то дозволяється використання квад-

ратичної шкали в одиницях вимірюваної витрати (наприклад, $л/хв$ або $м^3/год$).

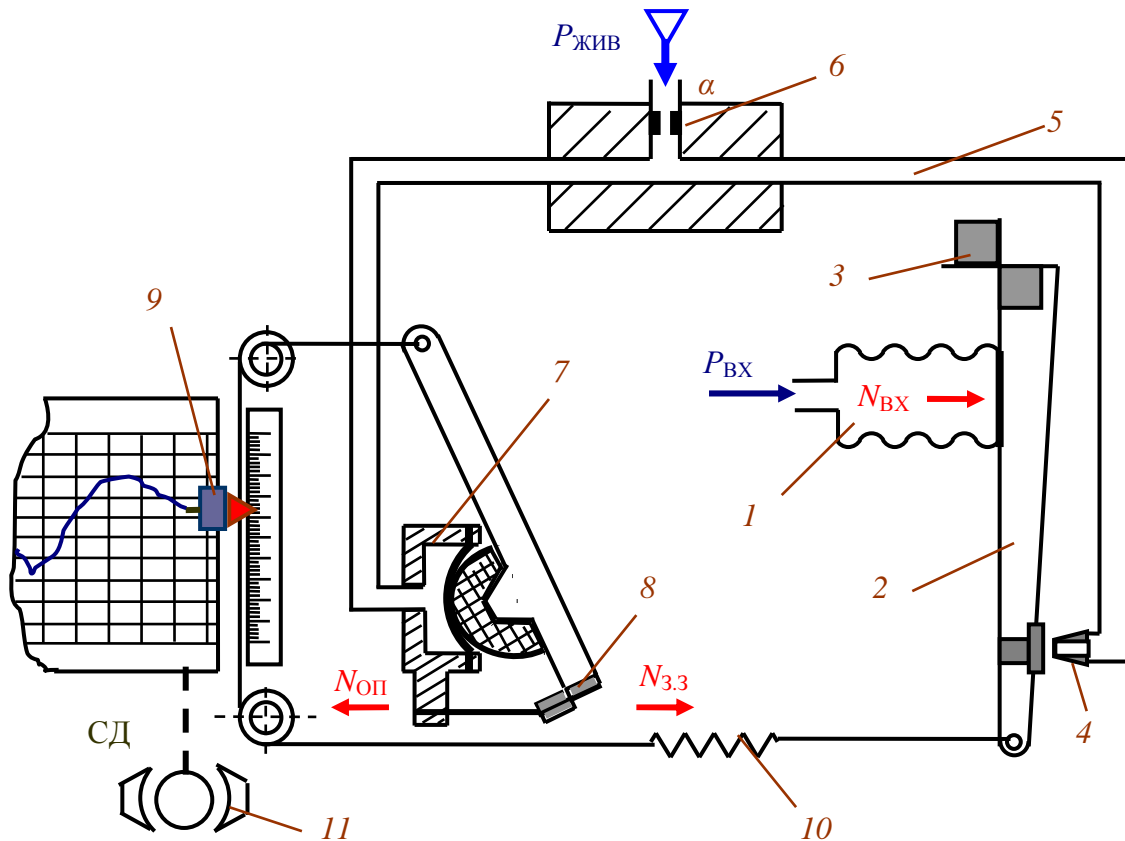


Рис. 25. Конструктивна схема блоку вимірювання вторинних приладів системи «СТАРТ»: 1 – сильфон вхідного сигналу; 2 – важіль блоку вимірювання; 3 – пружинна опора важеля; 4 – перетворювач сопло-заслінка; 5 – пневматична лінія; 6 – вхідний дросель живлення α ; 7 – спеціальна кулеподібна опора; 8 – пружина для кріплення важеля кулеподібної опори; 9 – показчик з пером для запису на стрічкову діаграму; 10 – пружина зворотного зв'язку; 11 – синхронний (електричний або пневматичний) двигун для протягування діаграми

Блок вимірювання з'єднується з корпусом та штуцерами за допомогою роз'ємного з'єднання, яке не допускає можливості витікання повітря. В приладах ПВ10.1Е(П), ПВ10.2Е(П), ПВ3.2 а також ФК.0071 вбудовано станцію керування, яка дозволяє вести ручне керування (режим Р), автоматичне регулювання (режим А) та автоматичне програмне регулювання (АП). Більш детально ці прилади будуть розглянуті у наступній частині посібни-

ка. Вторинні прилади типу ФК (ПВ) мають відсоткову шкалу. Допустима основна похибка всіх шкал і діаграми становить $\pm 1 \%$.

3.6. Пневмоавтоматика силових виконавчих механізмів

Виконавчий механізм застосовується для перетворення керуючого сигналу регулятора в переміщення регулюючого органа, який змінює безпосередньо потік речовини або енергії, що йде в об'єкт керування. Він повинен мати достатнє зусилля переміщення, високу швидкодію, необхідну чутливість, малий люфт та гістерезис.

За принципом дії пневматичні виконавчі механізми поділяють на механізми поступального руху, обертального руху, струминні. Механізми поступального руху, в свою чергу, поділяють на мембранні, поршневі та сильфонні. А механізми обертального руху ділять на шестерневі, лопастні та поршневі.

Широко застосовуються в хімічній промисловості та в інших галузях народного господарства мембранний виконавчий механізм, представлений на рис. 26. Цей механізм представляє із себе двухтарільчатий корпус 1, перегороджений пружною еластичною мембраною 2, виготовленою із прогумованої тканини з жорстким центром, яка поділяє його на дві половини. До жорсткого центру закріплено шток 3, який другим своїм кінцем зв'язаний з клапаном 4 або іншим елементом регулюючого органа. Для створення зусилля зворотного зв'язку на шток 3 надіта пружина зворотного зв'язку 5, яка одним своїм кінцем опирається на жорсткий мембранний центр, а другим – на корпус механізму. Сигнал від регулятора поступає на виконавчий механізм через проміжний підсилювач тиску 6, який називається позиціонер. Позиціонер вирішує дві задачі. В першій фазі своєї роботи він створює момент зрушення за рахунок того, що його внутрішній клапан повністю відкривається і створює великий за витратою імпульс керую-

чого тиску, який зриває з мертвої точки регулюючий орган, що залип або заіржавів і швидко наповнює керуючу камеру виконавчого механізму, поліпшуючи якість регулювання. Крім того, сили тертя спокою більші, ніж сили тертя ковзання. В другій фазі він підсилює сигнал регулятора за тиском за рахунок додаткового тиску живлення $2,5 \text{ кгс/см}^2$, що дозволяє створити більше пересувне зусилля. Зворотній зв'язок з позиціонером при русі виконавчого механізму здійснюється через важільну систему 7. Більш детально робота позиціонера буде розглядатись далі.

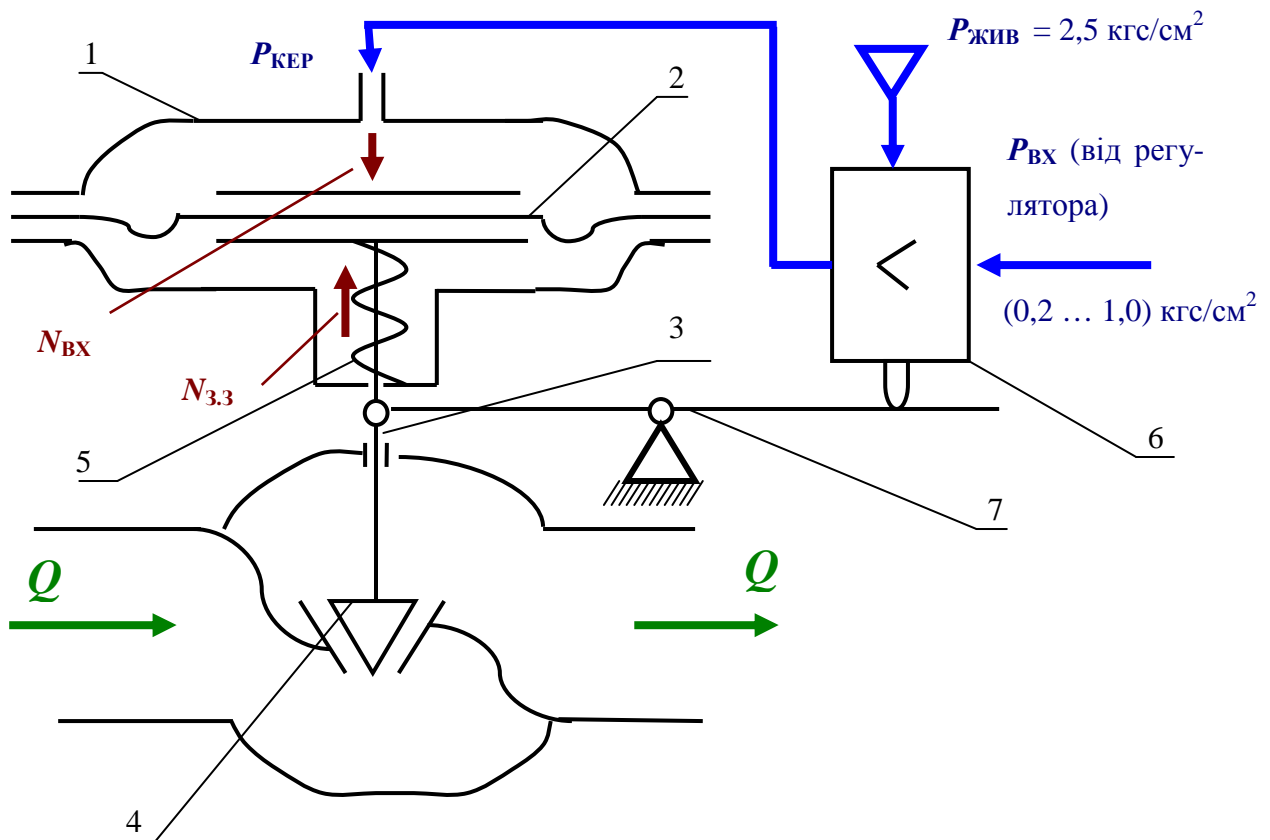


Рис. 26. Мембранний виконавчий механізм

На рисунку розглянуто так званий «нормально відкритий» виконавчий механізм, у якого при відсутності сигналу регулятора регулюючий орган буде повністю відкритий та буде знаходитись у верхньому крайньому положенні. Якщо сигнал силового живлення $2,5 \text{ кгс/см}^2$ подавати навпаки,

тобто під мембрану, а пружину розташувати так, щоб вона закривала регулювальний орган, то ми отримаємо так званий «нормально закритий» виконавчий механізм. Більш детальна робота цих та інших виконавчих механізмів буде розглянута далі в наступній частині посібника.

В наступних розділах посібника розглядаються пристрої, які працюють за принципом компенсації витрат (дивись розділ 11.7), акустичні та струминно-механічні пристрої (розділи 11.10 та 11.11), а також більш детальна робота позиціонерів (розділи 9.2 та 9.3).

4. РОБОТА ЕЛЕМЕНТІВ ПОРІВНЯННЯ П2ЕС.1 І П2ЕС.3 СИСТЕМИ «УСЕППА»

4.1. Будова та робота тримембранного елемента порівняння П2ЕС.1

В уніфікованій системі елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕППА) існує два елемента порівняння, які застосовуються для виконання різних операцій порівняння двох або декількох сигналів і реалізації різних обчислювальних функцій. Це – тримембранний елемент порівняння П2ЕС.1 і п'ятимембранний елемент порівняння П2ЕС.3. Будова тримембранного елемента П2ЕС.1 представлена на рис. 27. Він складається із корпусу 1, розділеного на чотири А, Б, В і Г камери в'ялими мембранами 2. Зверху і знизу мембрани притиснуті металічними дисками 3, що дозволяє створити мембранні центри. Конструктивно мембранний центр між камерами Б і В має велику ефективну площу F , а мембранні центри між камерами А і Б та між камерами В і Г мають малу ефективну площу f . До верхнього малого мембранного центру і до нижнього малого мембранного центру прикріплені сталеві поліровані заслінки 4, здатні закривати верхнє сопло живлення 6 і нижнє зазначене для скидання повітря в атмосферу сопло 5.

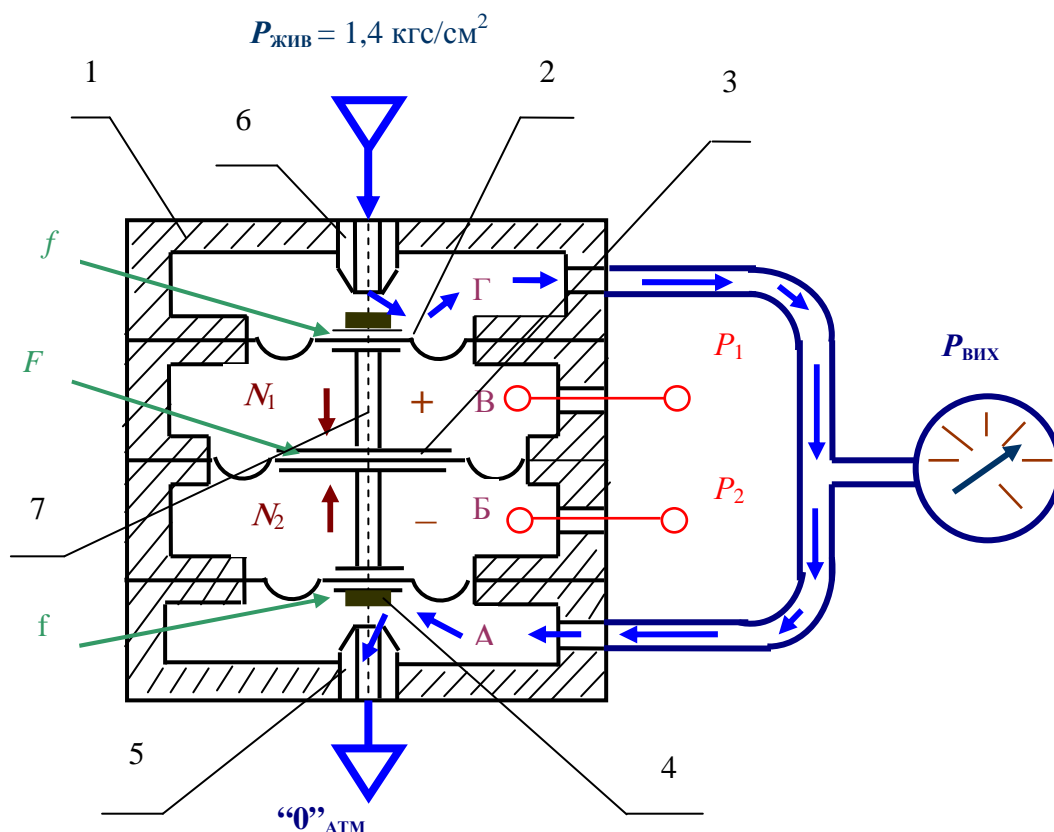


Рис. 27. Тримембранный элемент порівняння П2ЕС.1

Якщо в камеру В завести тиск P_1 , то він викличе ефективну силу $N_1 = P_1(F-f)$ спрямовану до низу. Внаслідок того, що всі мембранні центри зв'язані між собою за допомогою мембранного жорсткого стержня 7, весь мембранный блок опуститься до низу. Нижнє сопло закриється, а верхнє відкриється. У вихідну лінію на манометр буде поступати тиск живлення, який дорівнює $1,4 \text{ кгс/см}^2$. Таким чином, вихідний тиск буде дорівнювати $P_{\text{вих}} = 1,4 \text{ кгс/см}^2$. Якщо в наступний момент часу завести тиск P_2 в камеру Б, а тиск P_1 зробити рівним 0, то в камері Б виникне ефективна сила N_2 , спрямована вгору. Весь рухомий мембранный блок підніметься до гори, за-туляючи верхньою заслінкою сопло живлення 6 і відкриваючи нижньою заслінкою сопло скидання повітря в атмосферу 5. Тиск на манометрі упаде до нуля, тобто $P_{\text{вих}}$ стане дорівнювати 0. Якщо подати два тиска, але зробити $P_1 > P_2$, то на вихід знову пройде тиск живлення і $P_{\text{вих}}$ буде дорівню-

вати $1,4 \text{ кгс/см}^2$, так як в цьому випадку рівнодіюча двох сил $N_1 - N_2$ буде спрямована вниз і мембранний блок також переміститься до низу. Аналогічним чином, якщо зробити $P_1 < P_2$, то на виході буде нульовий тиск, тобто буде $P_{\text{вих}} = 0$. У випадку рівності тисків P_1 і P_2 , тобто, коли $P_1 = P_2$, мембранний блок зависне в середньому положенні між соплами. Оскільки провідність сопел приблизно однакова, то їх послідовне включення (послідовне включення їх опорів) буде ділити тиск живлення пополам, тобто $P_{\text{вих}} = 0,5P_{\text{жив}} = 0,7 \text{ кгс/см}^2$. Ця ситуація аналогічна електричному дільнику на однакових опорах, які також поділяють підведену напругу пополам. Це проілюстровано на рис. 28.

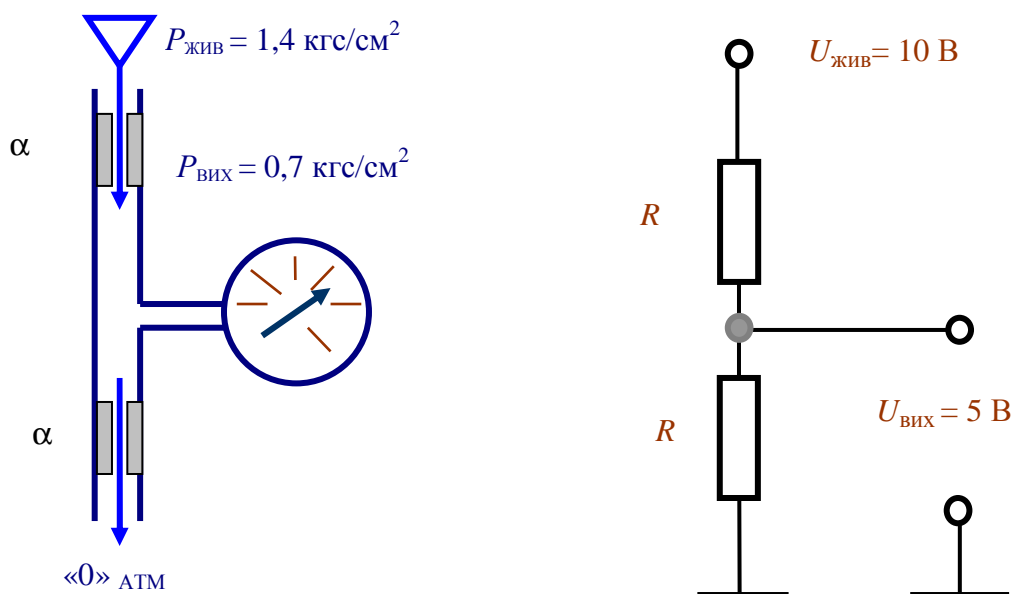


Рис. 28. Схема пневматичного та електричного дільників

Такий режим включення тримембранного елемента називається «режимом порівняння», при якому можна порівнювати два тиски та за видом вихідного сигналу можна оцінити, що більше – P_1 чи P_2 . Якщо $P_{\text{вих}} = 1,4 \text{ кгс/см}^2$, то $P_1 > P_2$. Якщо ж $P_{\text{вих}} = 0$, то $P_1 < P_2$. При рівності P_1 і P_2 на виході буде $P_{\text{вих}} = 0,5P_{\text{жив}}$.

При побудові пневматичних схем камери, в яких підведені тиски викликають сили, умовно спрямовані вниз, називаються «додатними». При цьому мембранний центр переміщується в нижнє положення і тиск на виході зростає від нуля до тиску живлення. Ті ж камери, в яких підведені тиски викликають сили, умовно спрямовані до гори, називаються «від’ємними». При цьому мембранний центр переміщується до гори і тиск на виході падає до нуля.

Другий режим включення елемента П2ЕС.1 наведено на рис. 29. Такий режим називається «режимом повторення». Він відрізняється від попереднього режиму тим, що тиск із вихідної лінії $P_{\text{вих}}$ заводиться у від’ємну камеру Б, створюючи силу зворотного зв’язку $N_{3.3}$. Ця сила діє проти вхідної сили N_1 , яка створюється тиском P_1 .

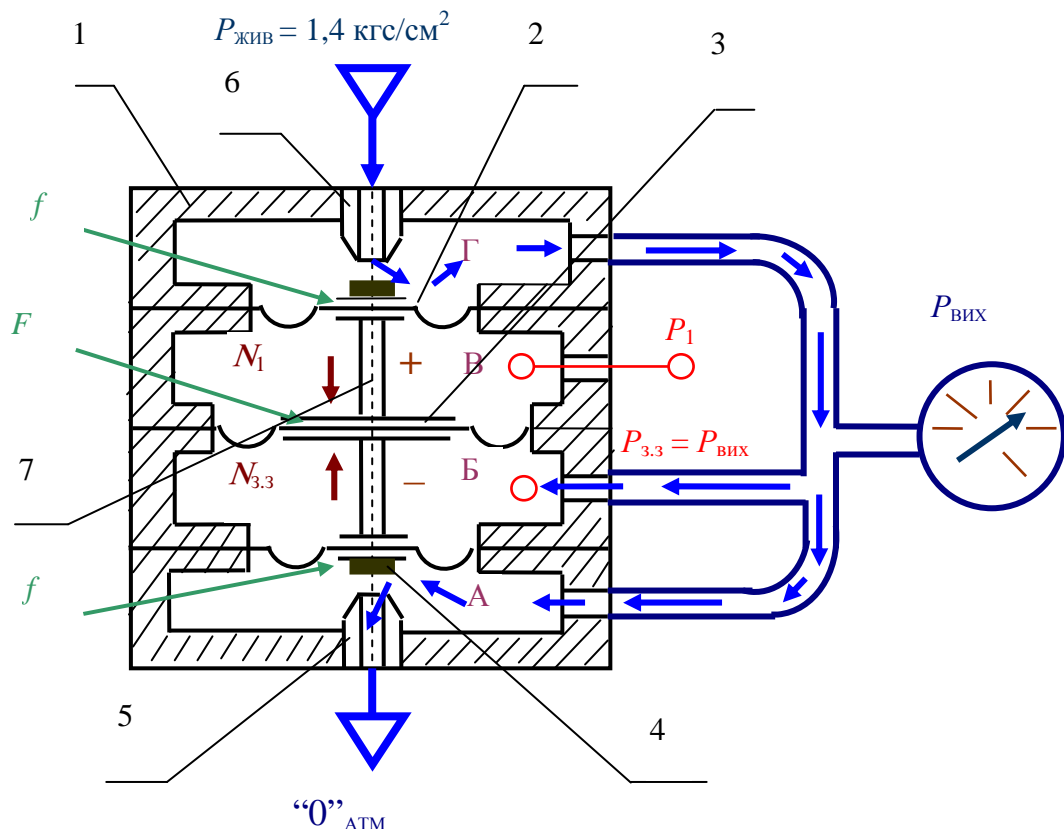


Рис. 29. Режим повторення елемента П2ЕС.1

Тому, при русі мембранного блоку до низу зростаючий на виході тиск буде створювати зростаючу силу зворотного зв'язку $N_{3,3}$. Коли вона стане дорівнювати вхідній силі N_1 , рух мембранного блока зупиниться. Цю умову рівноваги можна записати наступним чином:

$$N_1 = N_{3,3} \quad (7)$$

Записав останній вираз через тиски, отримаємо:

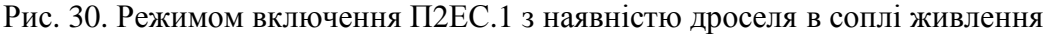
$$P_1(F - f) = P_{\text{вих}} (F - f). \quad (8)$$

Скорочуючи на $(F - f)$, будемо мати:

$$P_{\text{вих}} = P_1. \quad (9)$$

Таким чином, на виході буде повторюватись вхідний тиск. При цьому режимі буде виконуватись принцип компенсації сил: сила N_1 , яка діє вниз буде скомпенсована силою зворотного зв'язку $N_{3,3}$, яка діє вгору.

Ще один режим включення тримембранного елемента порівняння представлено на рис. 30. Такий режим включення називається «режимом включення з наявністю дроселя (пневматичного опору) в соплі живлення».



46

то $P_{\text{вих}} = P_1$. В цьому випадку також сила, яка діє вниз буде скомпенсована силою, яка діє вгору.

При побудові принципових пневматичних схем використовують спрощенні зображення вище зазначених елементів порівнянь, наведені на рис. 31, 32 і 33.

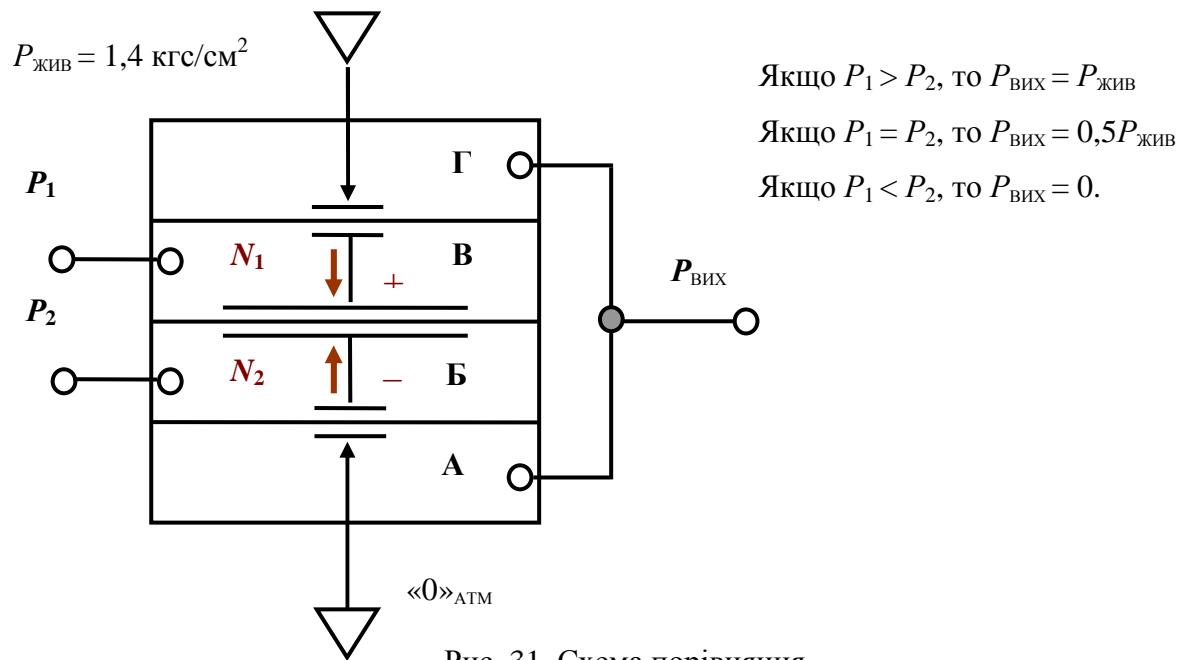


Рис. 31. Схема порівняння

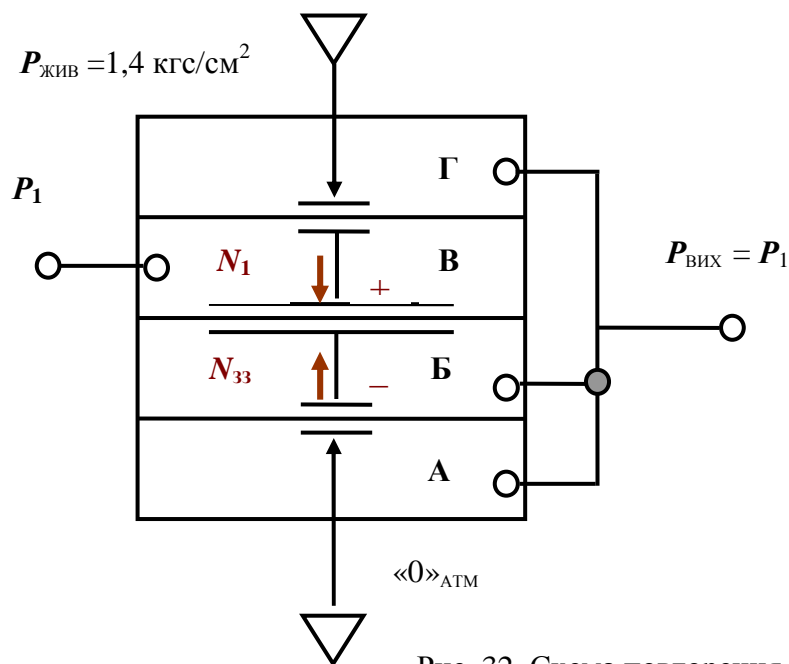


Рис. 32. Схема повторення

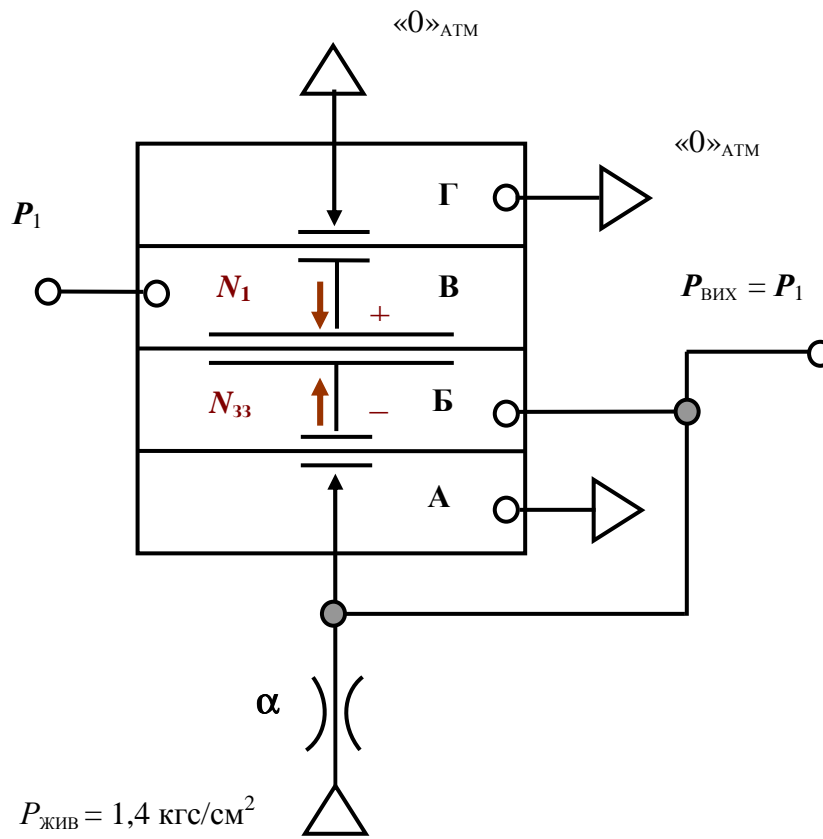


Рис. 33. Схема повторення вхідного сигналу з вмиканням дроселя в сопло живлення

4.2. Будова та робота п'ятимембранного елемента порівняння П2ЕС.3

Більш широкі функціональні можливості має п'ятимембранний елемент порівняння П2ЕС.3, конструктивне зображення якого представлено на рис. 34. Цей елемент конструктивно розділено п'ятьма в'ялими гумотканевими мембранами 2 на шість камер: А, Б, В, Г, Д та Е. Зверху та знизу кожна мембрана притиснута мембранними центрами 3. Між собою мембранні центри зв'язані за допомогою стержня 7, створюючи рухомий мембранний блок. Конструктивно площа мембранних центрів між камерами Б і В, а та-

кож між камерами Г і Д робиться великою і умовно позначається F . А площа між А і Б, В і Г, Д і Е, – робиться малою і умовно позначається f . До верхнього малого мембранного центру в камері Е і до нижнього малого мембранного центру в камері А кріпляться сталі поліровані заслінки 4. Верхня заслінка здатна затуляти верхнє сопло живлення 6, а нижня – сопло скидання в атмосферу 5. Кромки сопел також поліруються. Цей елемент також дозволяє порівнювати декілька вхідних сигналів і виконувати різні обчислювальні операції при наявності від’ємного зворотного зв’язку в його схемі включення: підсумовування, віднімання, множення, ділення, диференціювання, інтегрування и т. д. За своїми властивостями елемент П2ЕС.3 – операційний підсилювач, аналогічний операційним підсилювачам, які використовуються в електронній техніці. Тому й задачі, які він здатен виконувати, також аналогічні.

Наведена на рис. 34 схема включення цього елемента дозволяє алгебраїчно підсумовувати три сигнали – два зі знаком «плюс» и один зі знаком «мінус», тобто отримати вихідний сигнал наступного виду:

$$P_{\text{вих}} = P_1 - P_2 + P_3. \quad (10)$$

Це можна довести наступним чином. Якщо завести в камери Д, Г і В вхідні тиски P_1, P_2 і P_3 , то вони викличуть сили $N_1 = P_1(F - f)$, $N_2 = P_2(F - f)$ і $N_3 = P_3(F - f)$. Сили N_1 і N_3 будуть діяти вниз, так як при формуванні їх рівнодіючої великі мембранні центри також будуть знизу. А сила N_2 буде діяти вгору по аналогічній причині. Якщо в початковий момент часу сума сил N_1 і N_3 буде більша, чим сила N_2 , то весь рухомий мембранний блок почне опускатися до низу. Але по мірі його опускання на виході п’ятимембранного елемента буде зростати вихідний тиск $P_{\text{вих}}$. Цей зростаючий тиск буде поступати в камеру від’ємного зворотного зв’язку Б, створюючи силу компенсації зворотного зв’язку $N_{3.3}$. В той час, коли ця сила зворотного зв’язку стане дорівнювати сумі вхідних сил $N_1 - N_2 + N_3$,

настане рівновага мембранного блока і його рух вниз зупиниться. Почне виконуватись принцип компенсації сил:

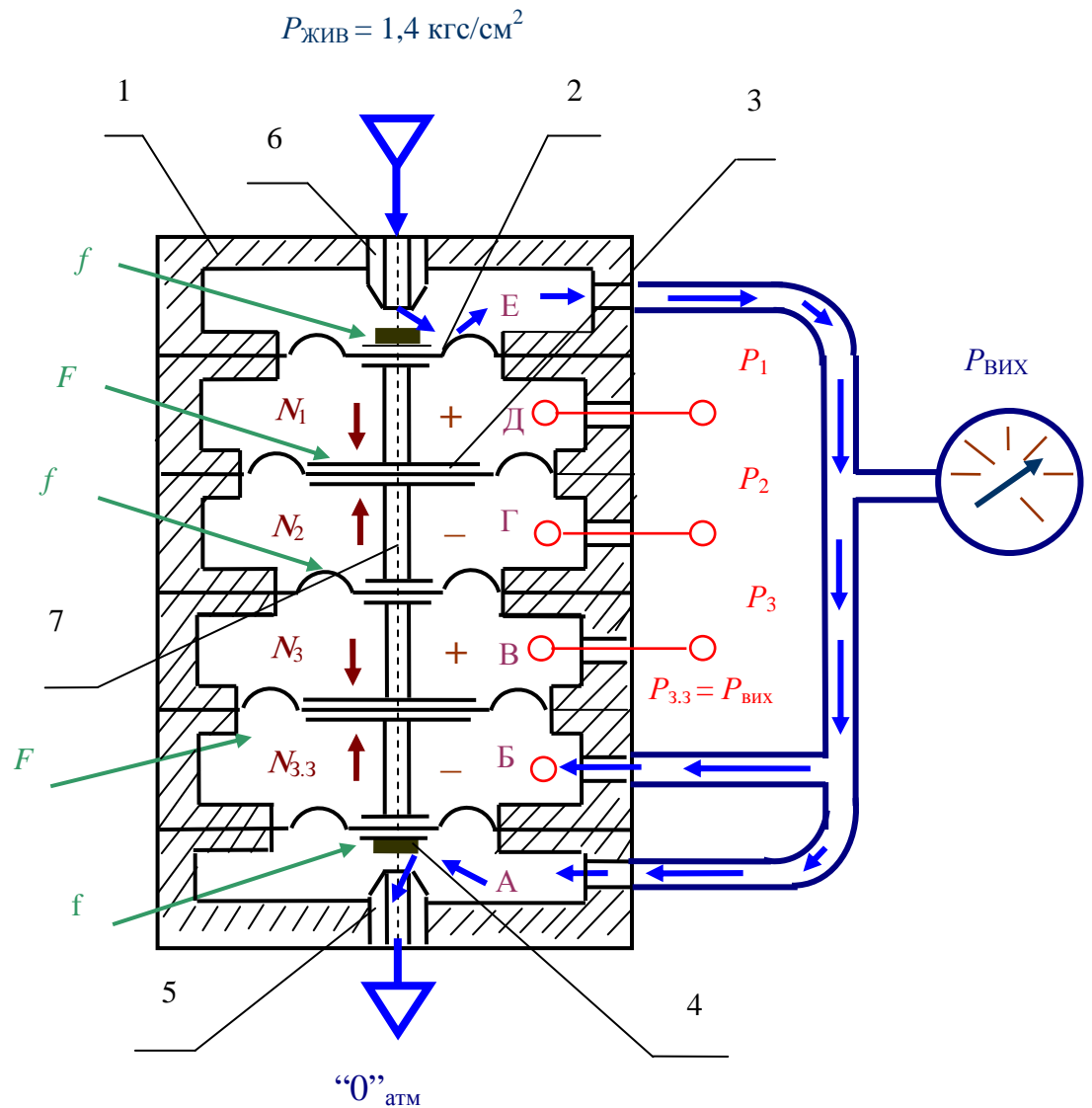


Рис. 34. П'ятимембранний елемент порівняння П2ЕС.3

сума вхідних сил $N_1 - N_2 + N_3$ буде скомпенсована силою зворотного зв'язку $N_{3.3}$. Умову рівноваги можна записати так:

$$N_1 - N_2 + N_3 = N_{3.3}. \quad (11)$$

Замінив в останньому виразі сили через тиски, отримаємо:

$$P_1(F - f) - P_2(F - f) + P_3(F - f) = P_{\text{ВИХ}} (F - f). \quad (12)$$

Скорочуючи на $(F - f)$, в закінченні маємо:

$$P_1 - P_2 + P_3 = P_{\text{вих}} \quad (13)$$

В спрощеному зображенні дана схема включення п'ятимембранного елемента порівняння представлена на рис. 35 та 36.

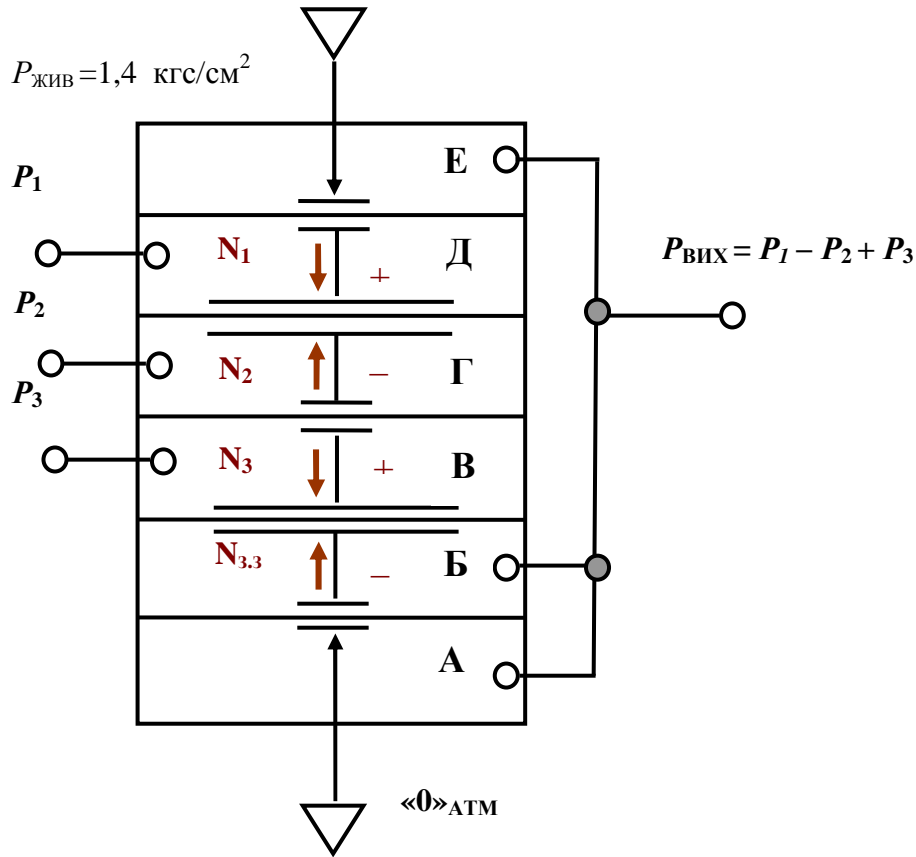


Рис. 35. Схема алгебраїчного підсумовування

Звертаємо увагу, що при реалізації обчислювальних операцій створюється від'ємний зворотний зв'язок шляхом сполучення вихідної лінії з однією або двома від'ємними камерами, наприклад, Б чи Г. При виконанні операції порівняння від'ємний зворотний зв'язок відсутній.

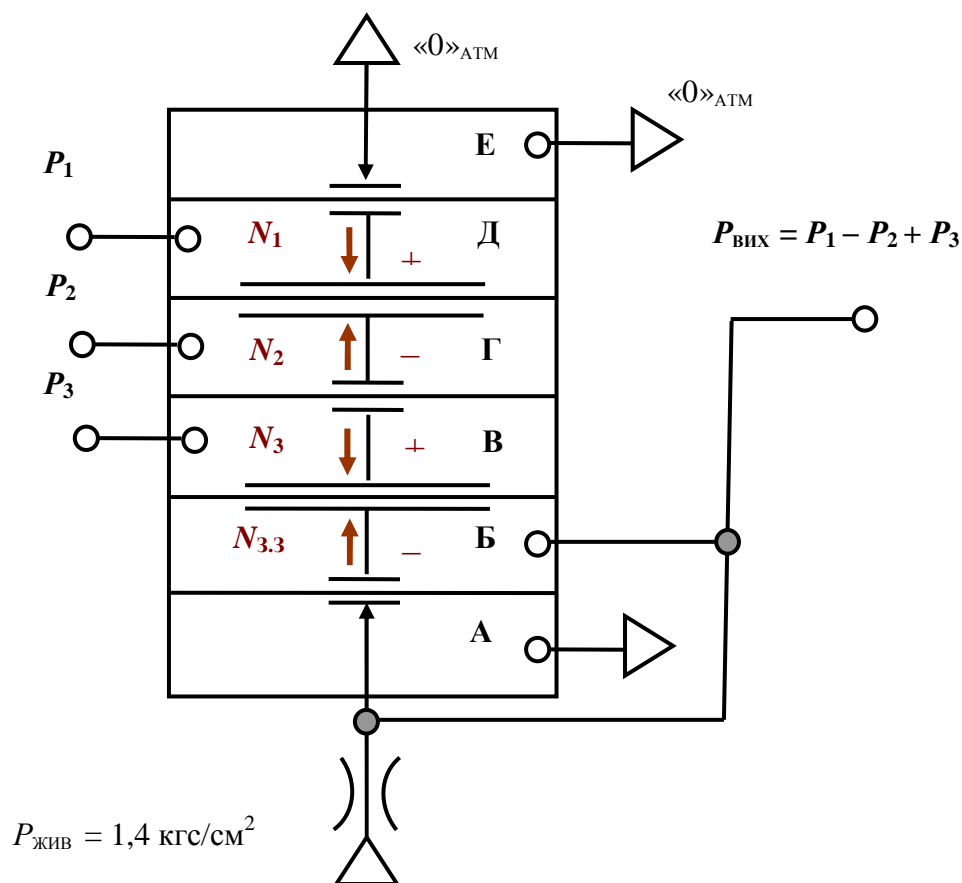


Рис. 36. Схема алгебраїчного підсумовування з присутністю дроселя в соплі живлення

4.3. Виконання математичних операцій на елементах порівняння

Одна із операцій порівняння представлена на рис. 37. Ця операція дозволяє визначити, що більше: сума «додатних» сигналів $P_1 + P_3$ чи сума «від'ємних» сигналів $P_2 + P_4$, чи ці суми сигналів приблизно рівні. Якщо сума «додатних» сигналів більше суми «від'ємних», то на виході схеми буде тиск живлення $P_{\text{жизв}} = 1,4 \text{ кгс/см}^2$, якщо ж сума «додатних» сигналів буде менше суми «від'ємних» сигналів, то на виході буде $\langle 0 \rangle$. У випадку рівності «додатних» і «від'ємних» сигналів мембранний блок зависне по середині між соплами і на виході буде сигнал, рівний за величиною половині тиску живлення, тобто $P_{\text{вих}} = 0,5P_{\text{жизв}} \approx 0,7 \text{ кгс/см}^2$.

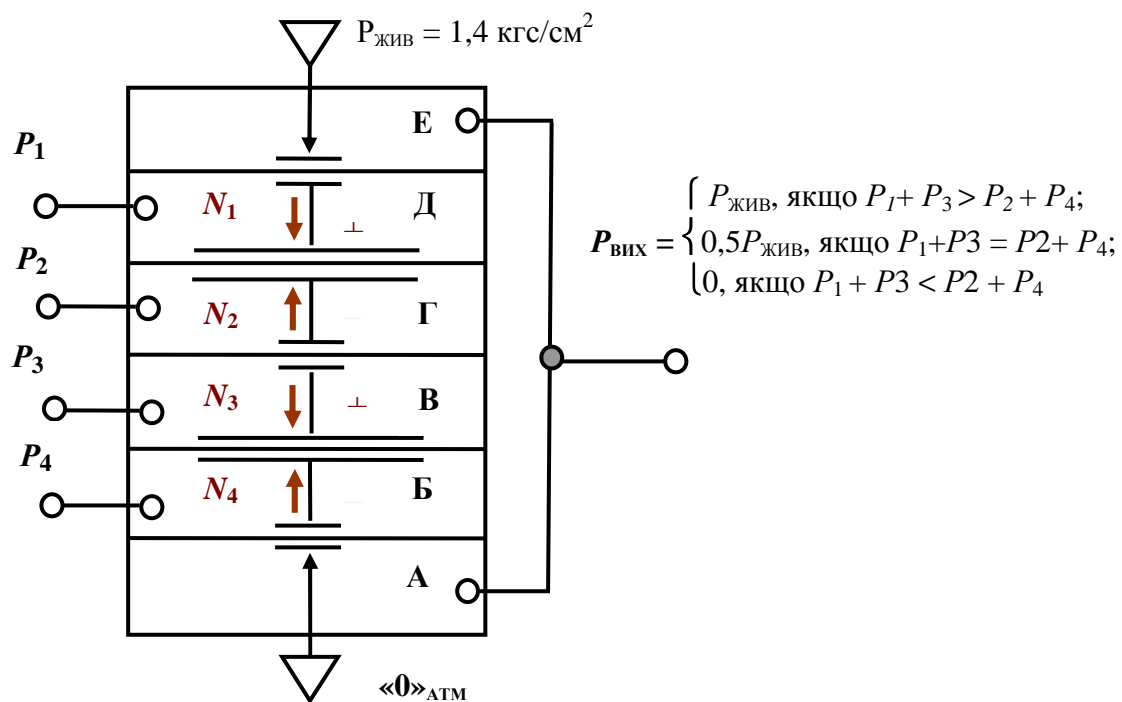


Рис. 37. Схема порівняння

Наведемо ще декілька прикладів схем включення п'ятимембранного елемента порівняння.

На рис. 38 та 39 приведена схема підсумовування двох сигналів. В цій схемі вхідні сигнали заходять в дві додатні камери В і Д, а вихідний сигнал формується у від'ємній камері Б.

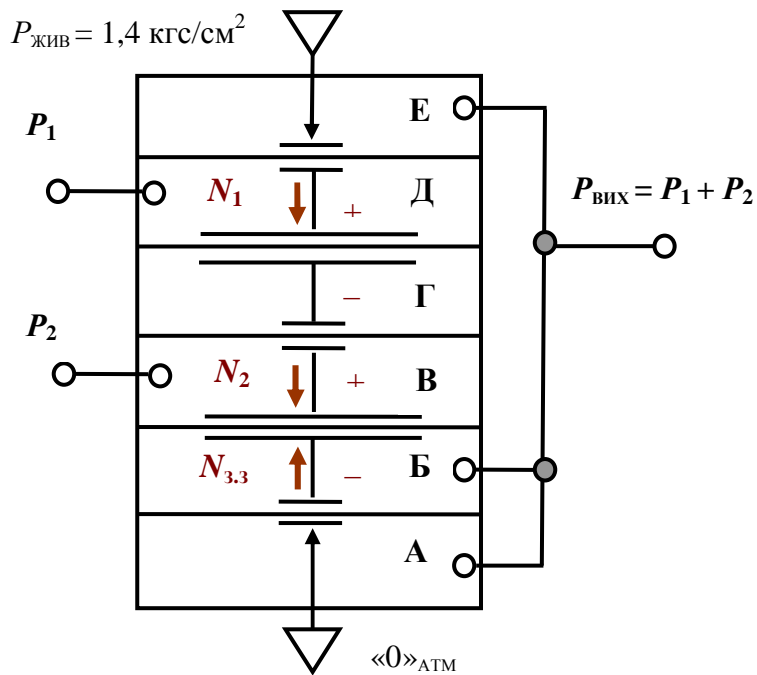


Рис. 38. Схема підсумовування двох сигналів

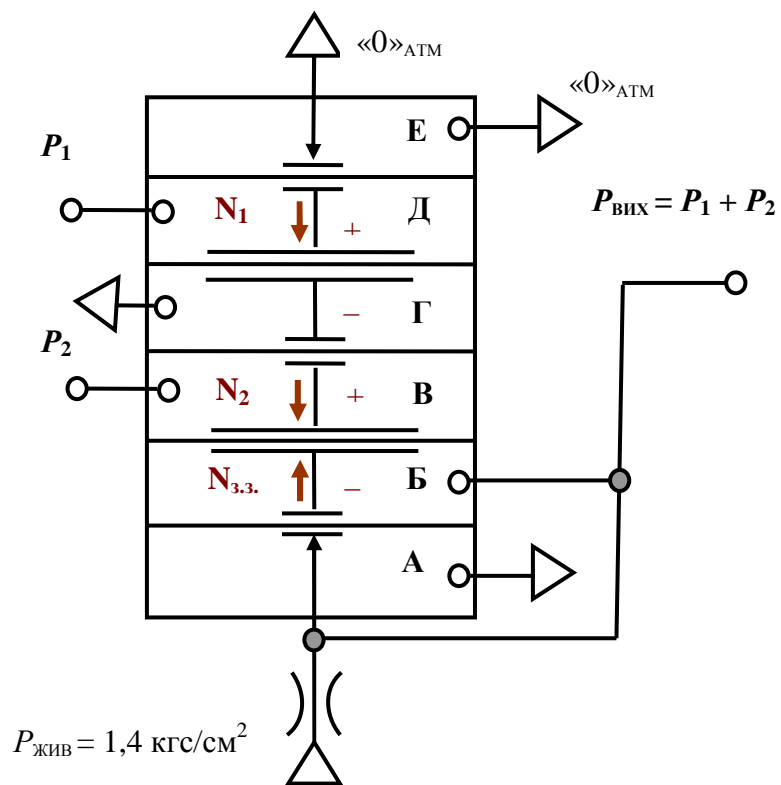


Рис. 39. Схема підсумовування двох сигналів з включенням дроселя в соплі живлення

В схемі віднімання (рис. 40) один сигнал заходить в додатну камеру, а другий – у від’ємну. При виконанні операції множення на два (дивись рис. 41) одним вхідним сигналом створюють дві вхідні сили, які компенсуються однією подвійною вихідною силою. В схемі ділення на два (рис. 42) все навпаки: одна вхідна сила компенсується двома вихідними. У всіх цих схемах реалізується принцип компенсації сил.

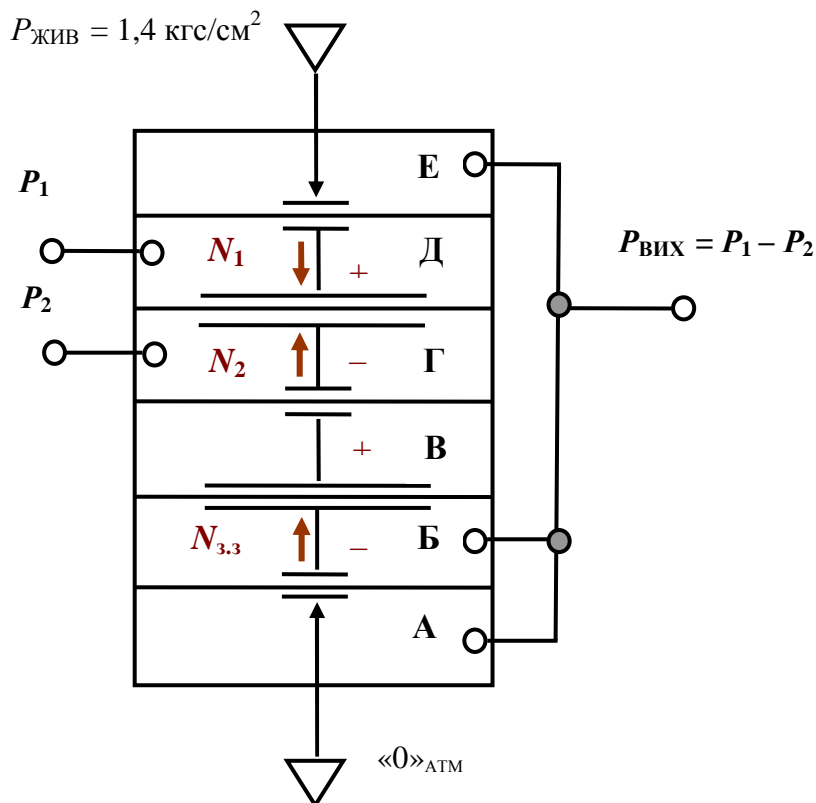


Рис. 40. Схема віднімання двох сигналів

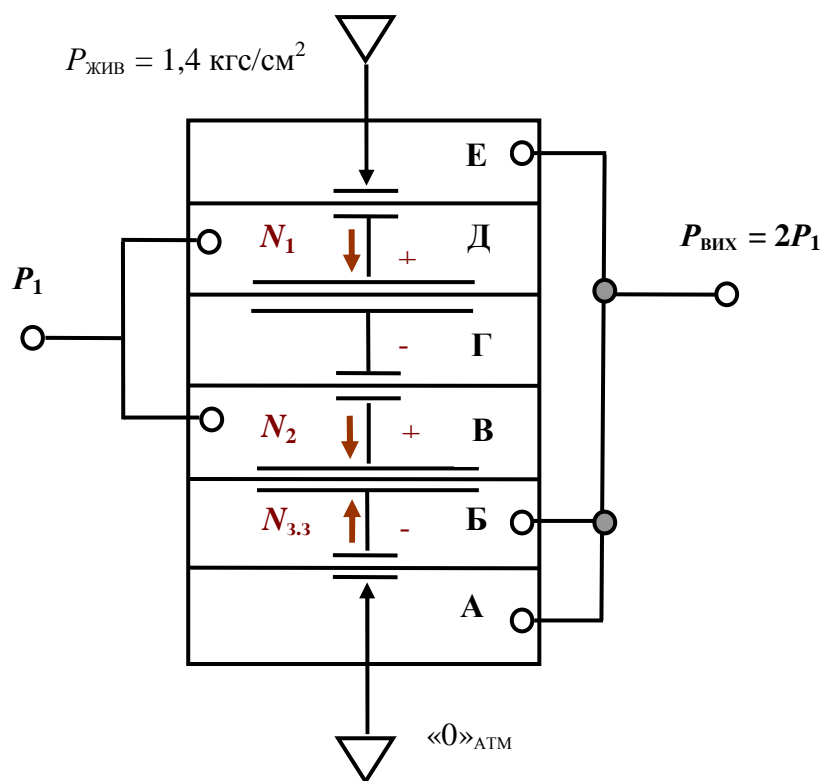


Рис. 41. Схема множення на два

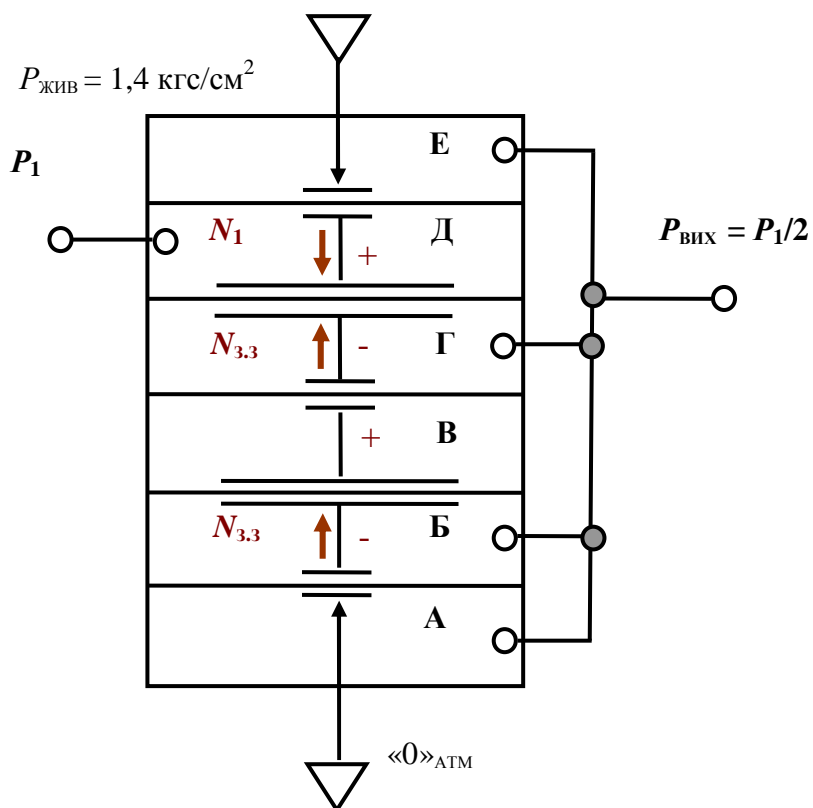


Рис. 42. Схема ділення на два

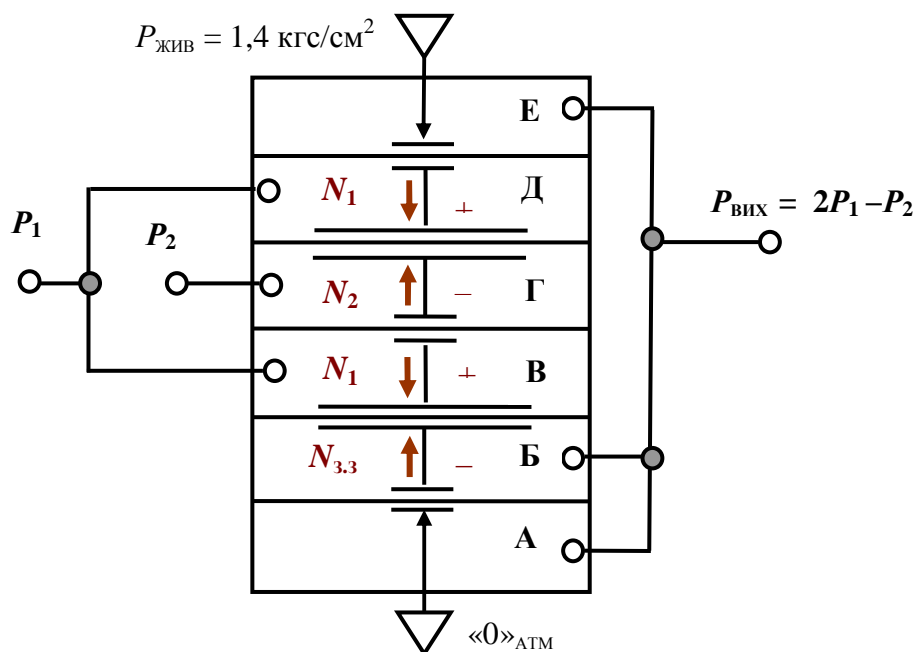


Рис. 43. Схема множення на два з відніманням другого сигналу

При виконанні операції множення на три використовують два послідовно з'єднані п'ятимембранні елемента порівняння (рис. 44).

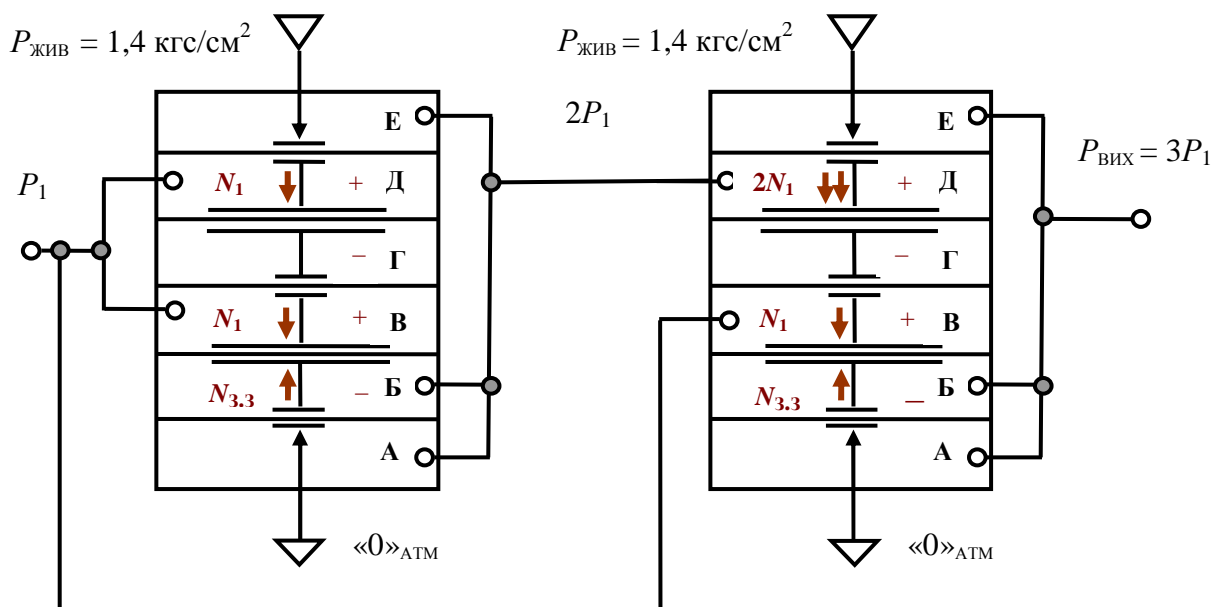


Рис. 44. Схема множення на три

Взагалі, можна використовувати скільки завгодно паралельно чи послідовно з'єднаних елементів порівняння.

Ще більш складно виконувати операцію ділення на три. При її виконанні необхідно, щоб сигнал зворотного зв'язку, який зрівноважує вхідний сигнал, дорівнював потрібному проміжному сигналу. Такий проміжний сигнал можна отримати після першого п'ятимембранного елемента. Він і буде вихідним сигналом. Схема, яка виконує цю операцію, наведена на рис. 45.

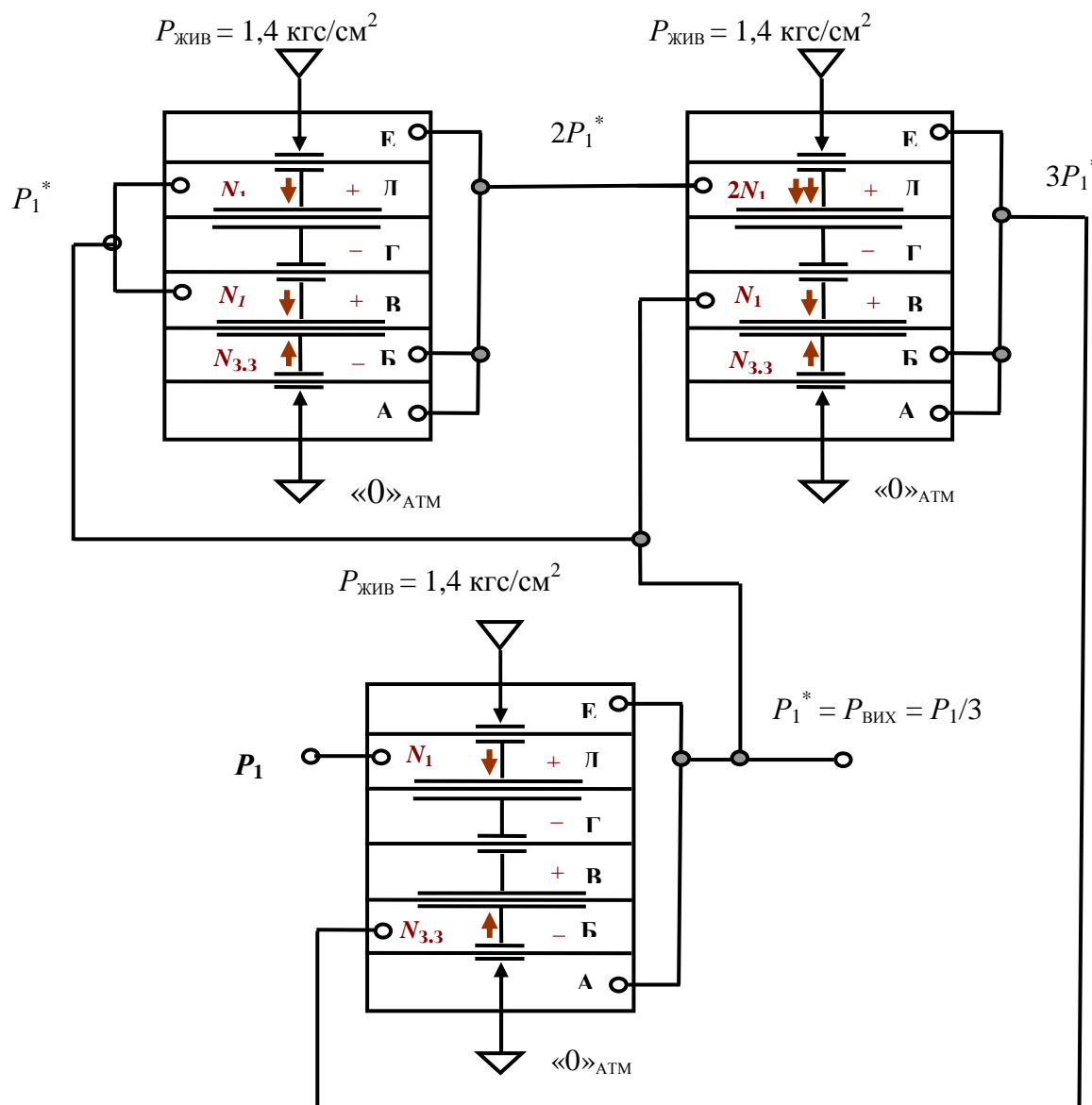


Рис. 45. Схема ділення на три

Ще одна схема, яка виконує операцію $P_{\text{вих}} = 2P_1 + P_2/2 - P_3$, представлена на рис. 46. При створенні цієї операції загальна задача розбивається на три окремі операції: операцію множення на два, операцію ділення на два і операцію алгебраїчного підсумовування.

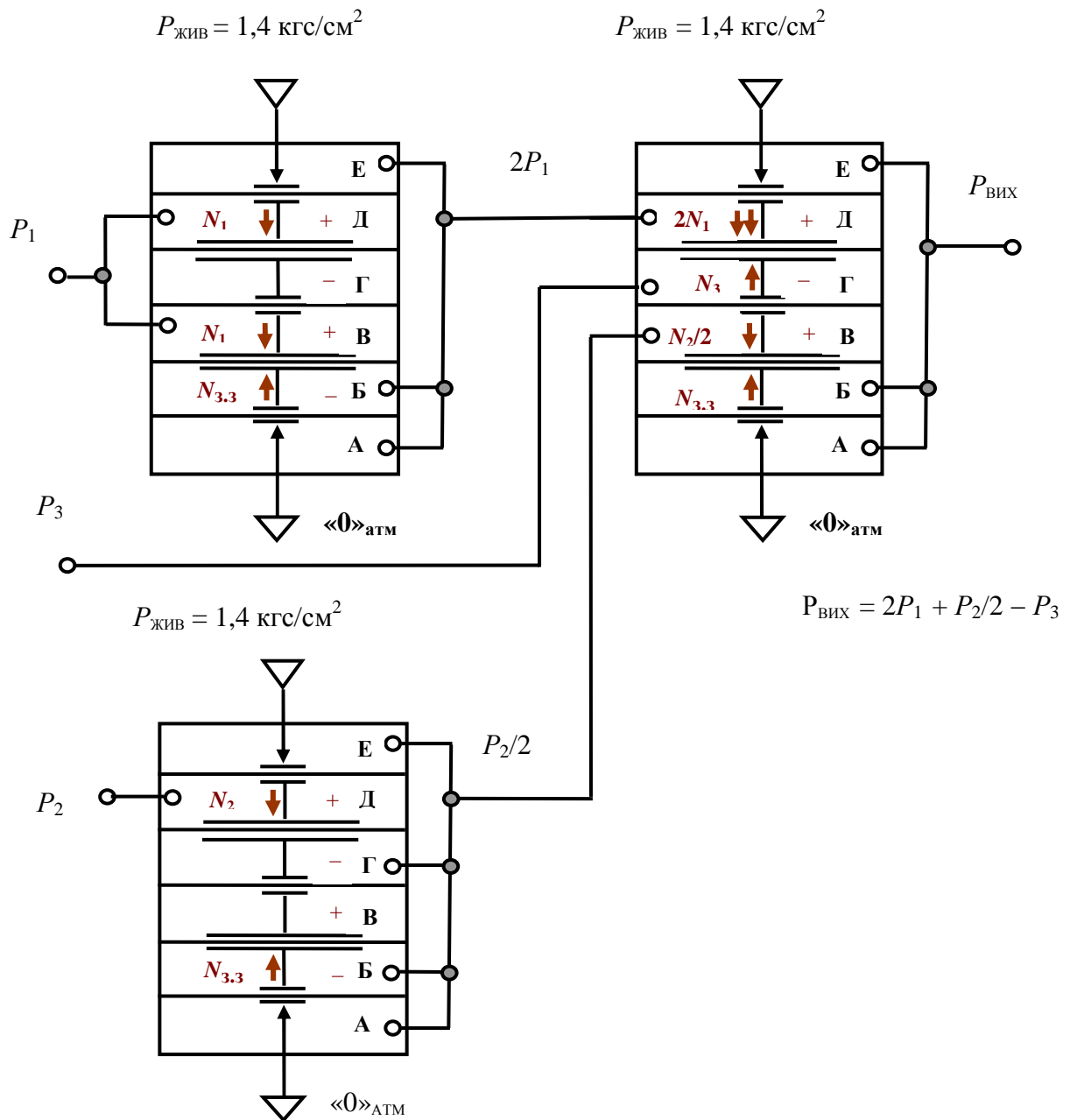


Рис. 46. Схема, яка виконує операцію $2P_1 + P_2/2 - P_3$

З'єднуючи між собою необхідну кількість п'ятимембрних елементів порівняння, можна виконувати любі за складністю задачі.

5. МНОЖЕННЯ ВХІДНИХ СИГНАЛІВ НА КОЕФІЦІЄНТИ $K \geq 1$ ТА $K \leq 1$, ЯКІ ЗМІНЮЮТЬСЯ НЕПЕРЕРВНО

5.1. Будова пневматичних опорів

При побудові пневматичних приладів часто виникають задачі множення вхідних сигналів на коефіцієнти, які змінюються неперервним чином. Ці задачі вирішують шляхом включення в лінію зворотного зв'язку або у вхідну лінію пристроїв, які зветься дросельними суматорами. Дросельний суматор складається із двох послідовно включених пневматичних опорів, які зветься дроселями. Пневматичний дросель представляє із себе звуження в повітропроводі, яке заважає проходженню повітря. За характером течії газу пневматичні опори ділять на ламінарні, турбулентні та змішаного типу. По виду характеристики витрат – на лінійні і нелінійні. За функціональним призначенням – на постійні, змінні і керуємі. За числом каналів – на одноканальні і багатоканальні та інші дроселя. Конструктивне зображення одного з ламінарних дроселів наведено на рис. 47.

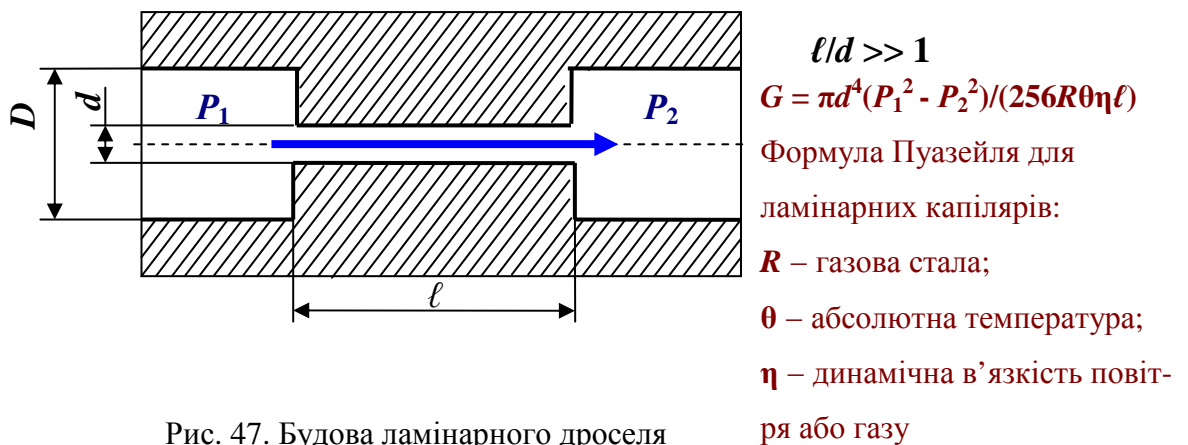


Рис. 47. Будова ламінарного дроселя

Для ламінарних пневмоопорів характерно велике відношення довжини до діаметра: $\ell/d \gg 1$. У таких дроселів витрата повітря або газу визначається формулою Пуазейля для стискаємої рідини:

$$G = \pi d^4 (P_1^2 - P_2^2) / (256 R \theta \eta \ell), \quad (14)$$

де G – витрата повітря або газу через ламінарний капіляр; $\pi = 3,14\dots$;
 d – діаметр капіляра; P_1 – тиск до капіляра; P_2 – тиск після капіляра;
 $R = 8,314$ Дж / (моль • К) – універсальна газова стала;
 η – динамічна в'язкість повітря або газу; ℓ – довжина капіляра.

Якщо врахувати в останній формулі, що $(P_1 + P_2)/(2R\theta) = P_{\text{ср}}/(R\theta) = \rho$ – середня густина газу в пневмоопорі, то цю формулу можна перетворити до наступного виду:

$$G = \frac{\pi d^4 \rho}{128 \eta l} (P_1 - P_2) \quad (15)$$

Величина $\alpha = \pi d^4 \rho / (128 \eta l)$ називається провідністю дроселя і, як вже було сказано, ця величина дорівнює кількості газу чи повітря, яке проходить через дросель при одиничному перепаді тиску на його кінцях. При малих перепадах тиску вона лишається приблизно сталою. Тоді:

$$G = \alpha (P_1 - P_2). \quad (16)$$

Величина, зворотна до провідності $R_{\text{п}} = 1/\alpha$ називається пневматичним опором. Якщо позначити через $\Delta P = (P_1 - P_2)$, то можна записати пневматичний аналог закону Ома:

$$\Delta P = G R_{\text{п}}. \quad (17)$$

На рис. 48 показані інші типи ламінарних пневмоопорів: щілинні та сотові.

Сотові ламінарні пневмоопори застосовуються тоді, коли необхідно зберегти лінійну залежність між витратою і перепадом тиску газу чи повітря на дроселі при великих витратах.

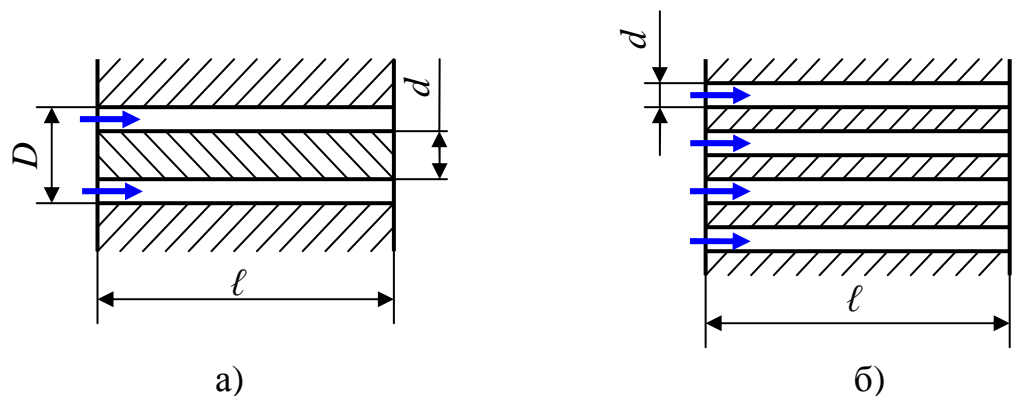


Рис. 48. а) щілинний ламінарний пневмоопір;
б) сотовий ламінарний пневмоопір

В системі елементів УСЕППА використовуються наступні типи ламінарних пневмоопорів: П2Д.4–1 з діаметром капіляру 0,18 мм, П2Д.4–2 з діаметром капіляру 0,33 мм, П2Д.4–4 з діаметром капіляру 0,5 мм при довжині їх капілярів 20 мм та П2Д.4–3 з діаметром капіляру 0,18 мм і довжині 7 мм.

Для турбулентних пневмоопорів характерно мале відношення довжини до діаметра: $\ell/d < 1$. Вони виготовляються у вигляді різного роду діфрагм, конструкція яких наведена на рис. 49. Для них витрата повітря або газу з практичною точністю визначається наступним чином:

$$G = \alpha \varepsilon F \sqrt{2\rho_1(P_1 - P_2)}, \quad (18)$$

де ρ_1 – густина газу до опора; ε – поправочний множник, який урахує зміну густини газу при протіканні його через опір; F – площа поперечного перетину опора. Коефіцієнт витрати газу $\alpha = \mu\phi$, де ϕ і μ – відповідно коефіцієнти швидкості і стиснення потоку. Для турбулентних опорів з практичною точністю $\mu = 1$, тоді $\alpha = 1/\sqrt{1+\zeta}$ (для турбулентних опорів з гострою входною кромкою $\zeta = 0,5$, тоді $\alpha = 0,815$).

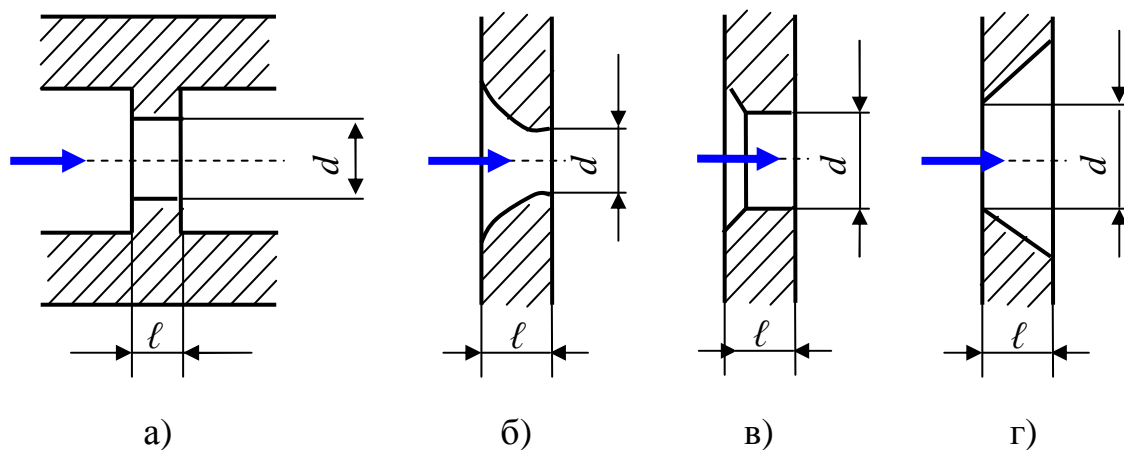
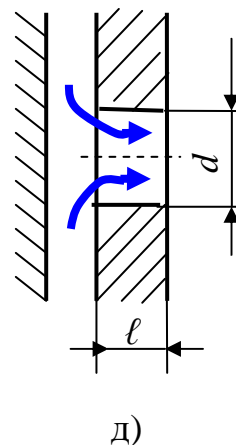


Рис. 49. Турбулентні дроселі:

- а) діафрагма з циліндричним отвором;
- б) діафрагма з округленим отвором;
- в) діафрагма з фаскою на вході;
- г) отвір в тонкій стіні;
- д) діафрагма з екранованим входом



Змінні пневматичні опори також бувають ламінарні, турбулентні та змішаного типу. Конструкція ламінарних пневмоопорів «конус – конус», щілинного «циліндр в циліндрі» і «поршень – канавка» представлена на рис. 50.

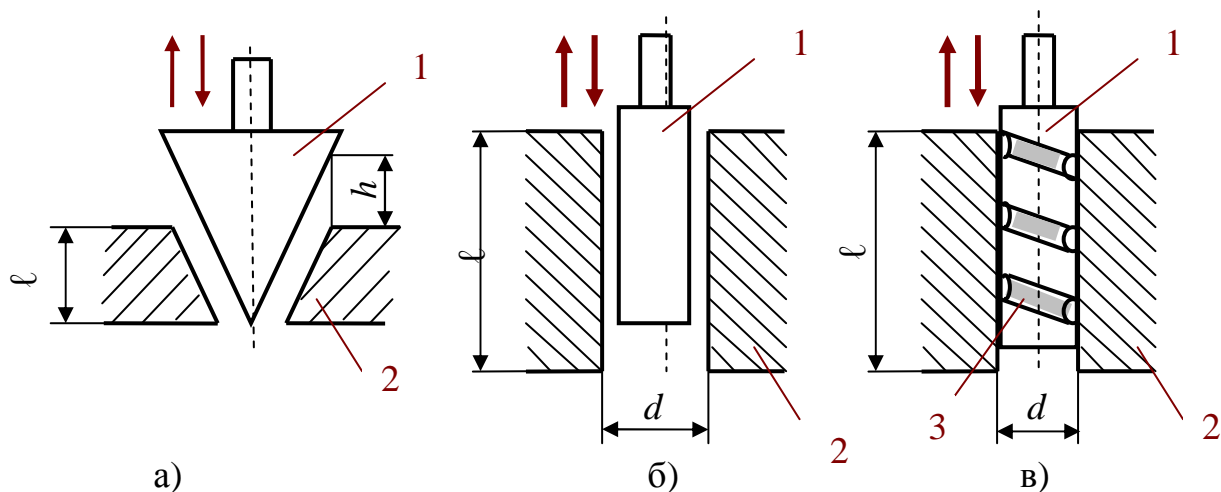


Рис. 50. Ламінарні змінні дроселі: а) дросель типу «конус – конус»; б) щілинний дросель типу «циліндр в циліндрі»; в) типа «поршень – канавка»

Деякі типи турбулентних змінних опорів приведені на рис. 50.

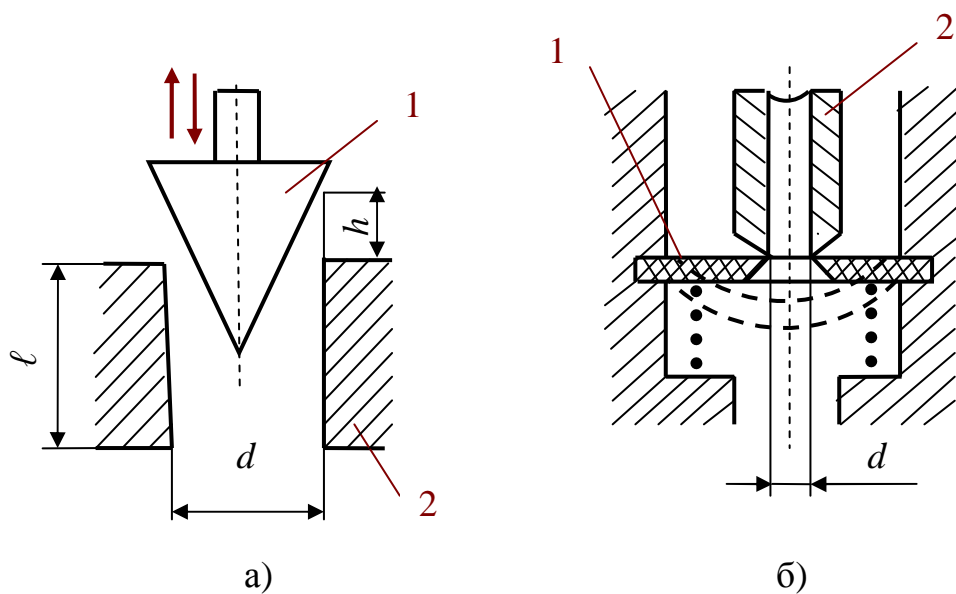


Рис. 51. Змінні турбулентні дроселі:
а) типу «циліндр – конус»;
б) типу «мембрана – гвинт прогинання»

В опорі «циліндр – конус» при зміщенні конуса 1 по відношенню до циліндра 2 змінюється різко розширюваний кільцевий зазор, а в опорі «мембрана – гвинт прогинання» при угині мембрани 1 під дією гвинта 2

зменшується діаметр d мембрани, яка виготовлена із металу або еластичного матеріалу.

Приклад пневматичного опору змішаного типу показано на рис. 52.

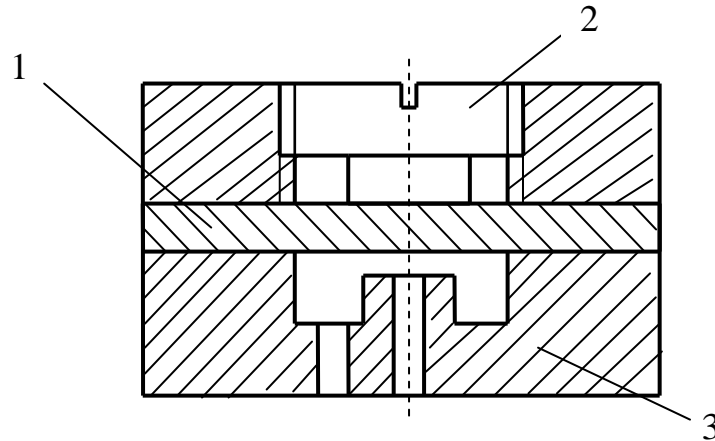


Рис. 52. Пневмоопір змішаного типу

В цьому опорі «сопло – заслінка» пружня мембрана 1 виконує роль заслінки. Зазор між мембраною 1 і соплом 3 регулюється гвинтом 2, визначаючи величину опору.

В системі елементів УСЕППА існує змінний опір П2Д.2М, спрощена конструкція якого представлена на рис. 53.

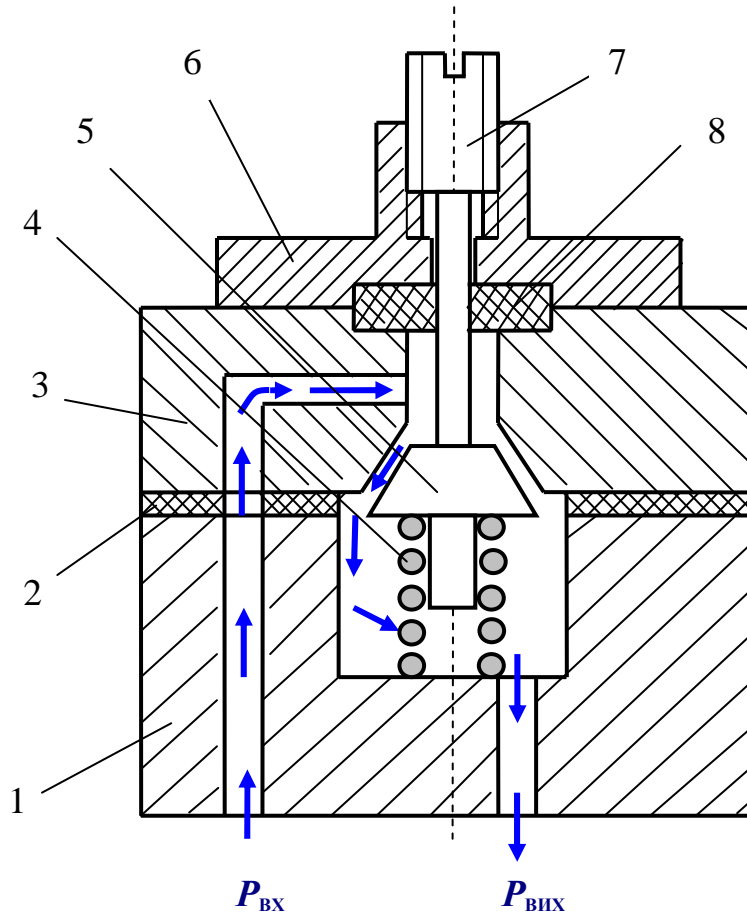


Рис. 53. Змінний пневматичний опір П2Д.2М: 1 – нижня частина корпусу; 2 – гумова прокладка; 3 – верхня частина корпусу; 4 – пружина; 5 – зворотний клапан з голковим штирем; 6 – фланець притискання; 7 – гвинт, який регулює зазор провідності дроселя; 8 – ущільнююче гумове кільце

Керовані пневматичні опори дозволяють дистанційно змінювати провідність дроселя. Оригінальний керуємий пневматичний опір можна побудувати на елементах системи УСЕППА (рис. 54). Цей опір будується на основі схеми включення тримембранного елемента порівняння П2ЕС.1 з дроселем в соплі живлення.

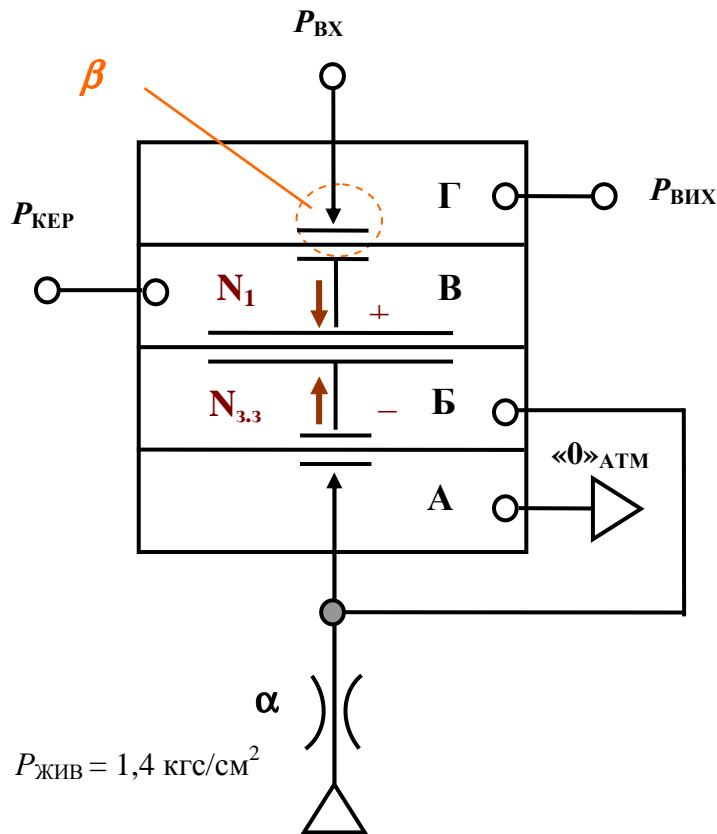


Рис. 54. Схема керованого опору з вмиканням дроселя в сопло живлення

В цьому опорі із збільшенням керувального тиску $P_{\text{КЕР}}$ заслінка в камері Г опускається вниз, збільшуючи зазор між соплом і тим самим збільшуючи провідність дроселя β , створеного цією заслінкою і соплом.

Другий тип керованих пневмоопорів представлено на рис. 55.

Найбільш розповсюдженим типом пневмоопорів є опір типу «сопло – заслінка». У цього пневматичного опору хід полірованої заслінки відносно відполірованих кромek сопла лежить в межах (0,05 – 0,1) мм. Однак, недопустимі перекося заслінки. Якщо їх запобігти не вдається, то застосовують пневмоопір «конус – кулька» або «циліндр – кулька». В цих опорах кулька центрується струменем вихідного повітря і завжди знаходиться на осі.

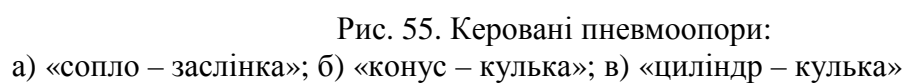


Рис. 56. Схема пульсующего опоры

¹ Фудим Е.В. Пневматическая вычислительная техника. М.: «Наука», 1973, 528 с. – стр. 216.

Він складається із генератора прямокутних коливань, побудованого на тримембранному реле, змінному дроселі і ємності V (робота його буде розглянута далі) та безпосередньо самого пульсуючого елемента. Сам пульсуючий елемент складається із двох контактів 1 і 2, ємності V_1 та шести камер А, Б, В, Г, Д і Е. В камеру А подається тиск великого підпору, а в камеру Д – тиск малого підпору. Це дозволяє зробити контакт 1 «нормально розімкненим» (сопло закрито), а контакт 2 – «нормально замкнутим» (сопло відкрито). Імпульси прямокутної форми тиску P_T поступають по чергово в часі в керувальні камери Б і Е, замикаючи по чергово контакти 1 і 2. Причому, з приходом високого рівня сигналу генератора (тобто імпульсу) спочатку замикається контакт 2, оскільки він відкритий малим підпором. В наслідок цього в ємності V_1 акумулюється кількість повітря або газу з тиском P_1 , тобто

$$m_1 = \rho_1 V_1 = P_1 V_1 / (R\theta), \quad (19)$$

де ρ_1 – густина повітря або газу при тиску P_1 ; R – універсальна газова стала; θ – абсолютна температура.

Далі розмикається контакт 1 і ємність V_1 сполучається з тиском P_2 . Оскільки, зазвичай, тиск $P_1 > P_2$, то кількість повітря або газу в ємності V_1 зменшується до величини

$$m_2 = \rho_2 V_1 = P_2 V_1 / (R\theta), \quad (20)$$

де ρ_2 – густина повітря або газу при тиску P_2 .

Таким чином, кількість повітря або газу (маса), яка проходить через пульсуючий дросель за один такт, дорівнює:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = (P_1 - P_2) V_1 / (R\theta). \quad (21)$$

Якщо відбувається n замикань за певний проміжок часу, то

$$m_\Sigma = \Delta m n = (P_1 - P_2) n V_1 / (R\theta). \quad (22)$$

Продиференціювавши останній вираз по часу і вважаючи, що значення P_1 і P_2 в кожному імпульсі лишаються сталими, маємо:

$$\frac{dm_{\Sigma}}{dt} = Q_m = \frac{V_1}{R\theta} \frac{dn}{dt} (P_1 - P_2), \quad (23)$$

де Q_m – масова витрата повітря або газу через дросель.

Позначаючи $dn / dt = f$ (f – частота замикань за проміжок часу), а через $\alpha = V_1 f / R\theta$ (провідність дроселя), отримаємо:

$$Q_m = \alpha(P_1 - P_2), \quad (24)$$

тобто, у пульсуючого дроселя при невеликих перепадах тиску витрата Q_m лінійно залежить від цього перепаду тиску $\Delta P = (P_1 - P_2)$.

5.2. Виведення рівняння дросельного суматора

Два або декілька послідовно включені пневматичні опори представляють собою дросельний суматор (дросельний дільник). Його зображення представлено на рис. 57. Тут дросель α і дросель β мають різну провідність. Нагадаємо, що під провідністю дроселя мають на увазі таку кількість повітря або газу, яку він здатен пропустити через себе при одиничному перепаді тиску на його кінцях. Значення тиску між дроселями знаходять наступним чином.

Витрата повітря через дросель α дорівнює провідності дроселя помноженій на перепад тиску на цьому дроселі:

$$q_{\alpha} = \alpha(P_1 - P_{\text{вих}}), \text{ якщо } P_1 > P_2. \quad (25)$$

Витрата через дросель β визначається аналогічно:

$$q_{\beta} = \beta(P_{\text{вих}} - P_2). \quad (26)$$

Так як манометр, який показує величину вихідного сигналу, представляє собою глуху камеру, то $q_{\alpha} = q_{\beta}$. Тоді можна записати:

$$\alpha(P_1 - P_{\text{вих}}) = \beta(P_{\text{вих}} - P_2). \quad (27)$$

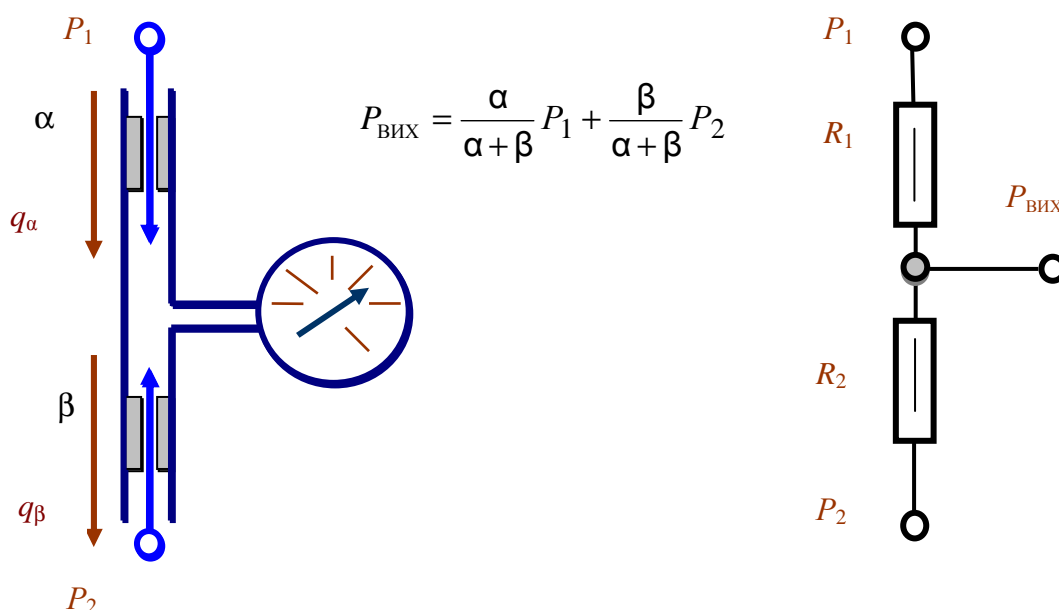


Рис. 57. Дросельний суматор

Вирішуючи отримане рівняння відносно $P_{\text{вих}}$, маємо:

$$P_{\text{вих}} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_1 + \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_2. \quad (28)$$

Останній вираз називається рівнянням дросельного суматора, яке показує, як вихідний сигнал залежить від вхідних сигналів. Використовуючи це рівняння ми зможемо знайти значення вихідних сигналів в операціях множення на коефіцієнти $K \geq 1$ та $K \leq 1$, які можна змінювати неперервним чином.

5.3. Операція множення на коефіцієнт $K \geq 1$

Ця операція може бути реалізована при допомозі п'ятимембранного елемента порівняння, в ланцюг від'ємного зв'язку якого включено дросельний суматор (рис. 58).

Для знаходження вихідного сигналу в даній схемі потрібно записати дві умови: 1 – умову рівноваги мембранного блока; 2 – умову рівності витрат повітря через дросель β і дросель α .

1. Умову рівноваги мембранного блока записують так:

$$N_1 = N_{3.3} \quad (29)$$

Тобто сума сил, яка діє вниз повинна дорівнювати сумі сил, яка діє вгору. Якщо останню рівність записати через тиски, то отримуємо:

$$P_1(F - f) = P_B(F - f), \quad (30)$$

тобто $P_1 = P_B$.

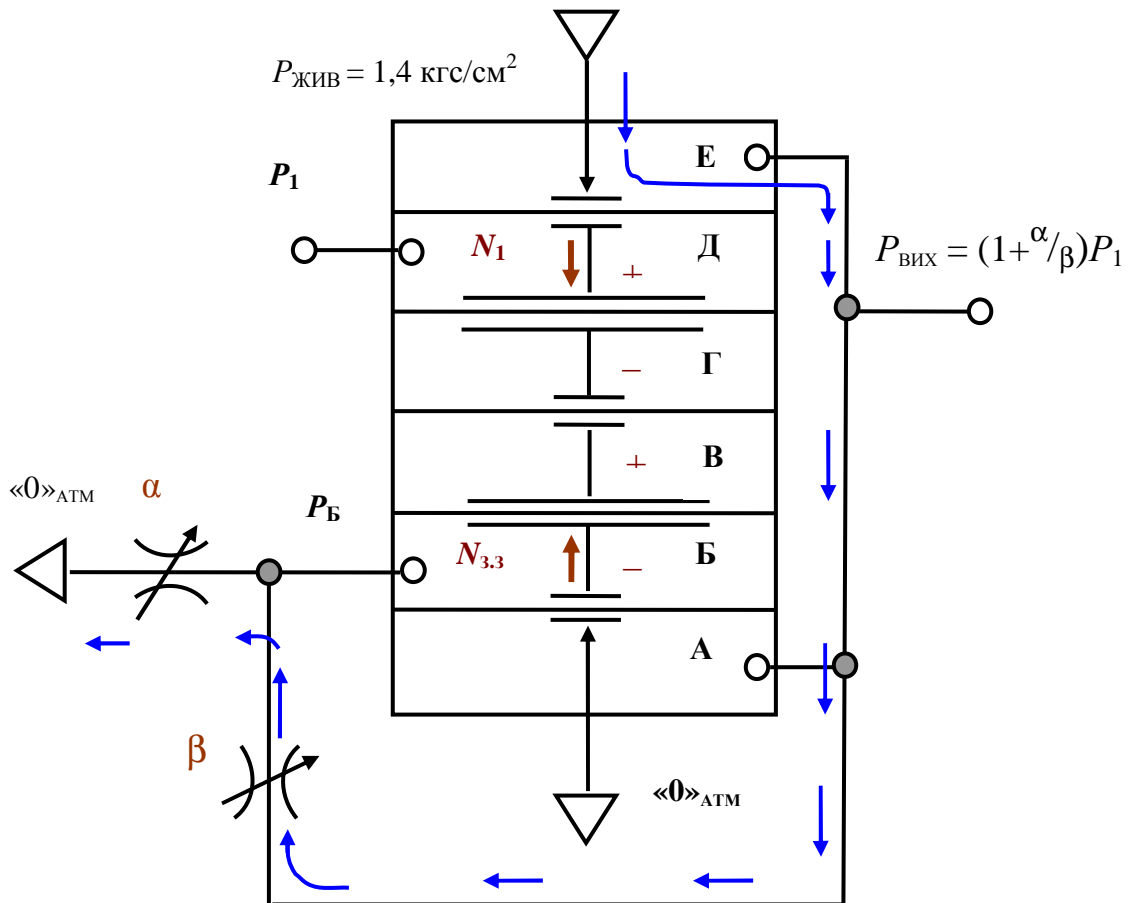


Рис. 58. Схема множення на коефіцієнт $K \geq 1$ одного сигналу

Тиск в середній точці дросельного діляника індексується по індексу тієї камери, в яку він заходить.

2. Умова рівності витрат повітря через дросель β і дросель α визначається наступним чином: $q_\beta = q_\alpha$, тобто витрата повітря через дросель β дорівнює витраті повітря через дросель α . Інакше:

$$\beta(P_{\text{вих}} - P_{\text{б}}) = \alpha(P_{\text{б}} - 0), \quad (31)$$

де α і β – провідності дроселів.

Із останнього виразу знаходимо $P_{\text{б}}$:

$$P_{\text{б}} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_{\text{вих}} \quad (32)$$

Підставляючи отримане значення $P_{\text{б}}$ в першу умову і вирішуючи його відносно $P_{\text{вих}}$, остаточно знаходимо:

$$P_{\text{вих}} = (1 + \frac{\alpha}{\beta}) P_1. \quad (33)$$

В отриманому виразі $(1 + \frac{\alpha}{\beta}) = K$ є коефіцієнтом множення, який може бути $K \geq 1$. Цікава ситуація, коли в цій схемі $K = 1$. Це можливо, коли або $\alpha = 0$, або $\beta = \infty$. Якщо $\alpha = 0$, то це означає, що дросель скидання в атмосферу повністю закритий (забитий) і його вплив ніяк не впливає на формування сигналу зворотного зв'язку. Якщо ж $\beta = \infty$, то це говорить, що β повністю відкритий і вплив дроселя α на формування сигналу зворотного зв'язку в порівнянні з вихідним сигналом є дуже малим, що викликає роботу схеми в режимі повторення.

Якщо подавати на вільний вхід дроселя α другий сигнал тиску P_2 , отримаємо схему множення різниці двох сигналів $(P_1 - P_2)$ на коефіцієнт $K \geq 1$. Така схема представлена на рис. 59.

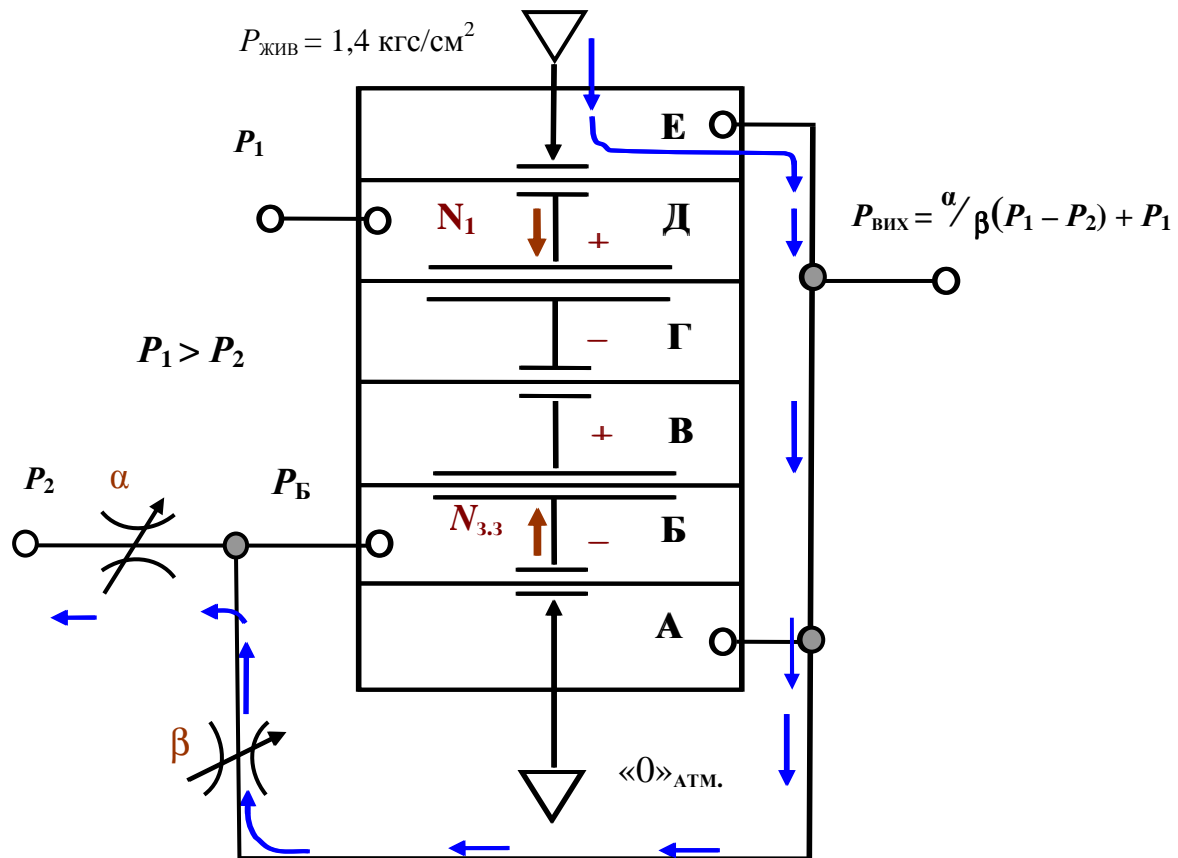


Рис. 59. Схема множення на коефіцієнт $K \geq 1$ двох сигналів

Для знаходження значення вихідного сигналу скористаємось тими самими умовами, що і в попередній схемі: умовою рівноваги мембранного блока та умовою рівності витрати повітря через дросель β і дросель α .

1. Умова рівноваги мембранного блока:

$$N_1 = N_{3.3} \quad (34)$$

Тобто, сума сил, яка діє вниз має дорівнювати сумі сил, що діє вгору.

Якщо останню рівність розписати через тиски, то отримаємо:

$$P_1(F - f) = P_B(F - f), \quad (35)$$

тобто $P_1 = P_B$.

2. Умова рівності витрат повітря через дросель β і дросель α визначається так: $q_\beta = q_\alpha$, тобто витрата повітря через дросель β дорівнює витраті повітря через дросель α . Інакше:

$$\beta(P_{\text{вих}} - P_{\text{б}}) = \alpha(P_{\text{б}} - P_2), \quad (36)$$

де α і β – провідності дроселів.

Із останнього виразу знаходимо $P_{\text{б}}$:

$$P_{\text{б}} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_{\text{вих}} + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_2. \quad (37)$$

Підставляючи отримане значення $P_{\text{б}}$ в першу умову і, вирішуючи його відносно $P_{\text{вих}}$, остаточно знаходимо:

$$P_{\text{вих}} = \frac{\alpha}{\beta}(P_1 - P_2) + P_1. \quad (38)$$

В отриманому виразі $\frac{\alpha}{\beta} = K$ є коефіцієнтом множення, який може бути як $K \geq 1$, так і $K \leq 1$. Ситуація, коли в цій схемі $K = 1$ можлива тоді, коли $\alpha = \beta$. По відношенню до сигналу P_1 ця схема реалізує операцію множення на коефіцієнт $K > 1$.

5.4. Операція множення на коефіцієнт $K \leq 1$

Якщо дросельний суматор ввімкнути в лінію вхідного сигналу P_1 , а зворотний зв'язок зробити звичайним, то можна отримати операцію множення на коефіцієнт $K \leq 1$. Приклад такої схеми наведено на рис. 60.

Для знаходження вихідного сигналу знову запишемо умову рівноваги мембранного блока і умову рівності витрат повітря через дросель α і дросель β .

1. Умова рівноваги:

$$N_1 - N_{\Gamma} = N_{3.3}, \quad (38)$$

$$P_1(F - f) - P_{\Gamma}(F - f) = P_{\text{вих}}(F - f), \quad (39)$$

$$P_1 - P_{\Gamma} = P_{\text{вих}}. \quad (40)$$

2. Умова рівності витрат повітря:

$$q_{\alpha} = q_{\beta}, \quad \text{або} \quad \alpha(P_1 - P_{\Gamma}) = \beta(P_{\Gamma} - 0). \quad (41)$$

Звідки:

$$P_{\Gamma} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_1 + \frac{\beta}{\alpha + \beta} 0. \quad (42)$$

Підставляючи в умову 1, отримаємо:

$$P_{\text{ВИХ}} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_1. \quad (43)$$

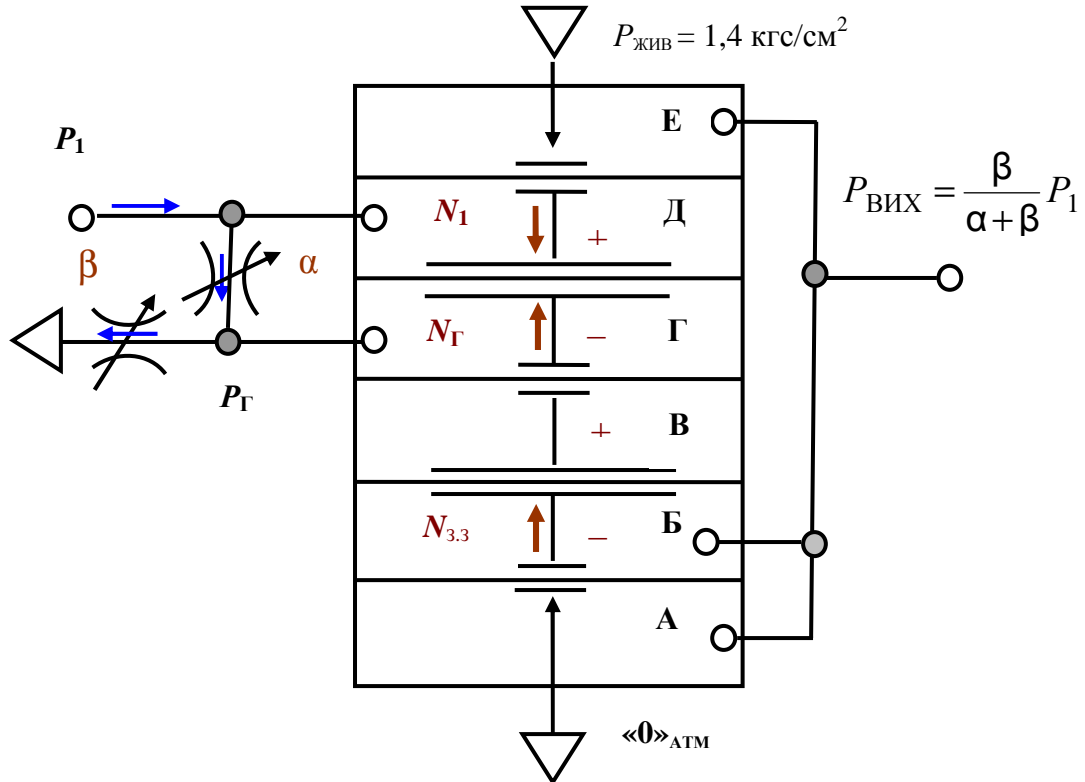


Рис. 60. Схема множення на коефіцієнт $K \leq 1$

Вираз $\frac{\beta}{\alpha + \beta} = K \leq 1$ – коефіцієнт множення, який реалізує ця схема,

є менше одиниці.

Якщо на вільний вхід дроселя β подати другий сигнал P_2 , то отримаємо схему множення на коефіцієнт $K \leq 1$ двох сигналів (рис. 61).

Аналогічно попереднім випадкам запишемо:

$$1. N_1 - N_{\Gamma} = N_{3.3} \Rightarrow P_1 - P_{\Gamma} = P_{\text{ВИХ}} \quad (44)$$

$$2. q_{\alpha} = q_{\beta} \Rightarrow \alpha(P_1 - P_{\Gamma}) = \beta(P_{\Gamma} - P_2), \quad (45)$$

звідки:

$$P_{\Gamma} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_1 + \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_2. \quad (46)$$

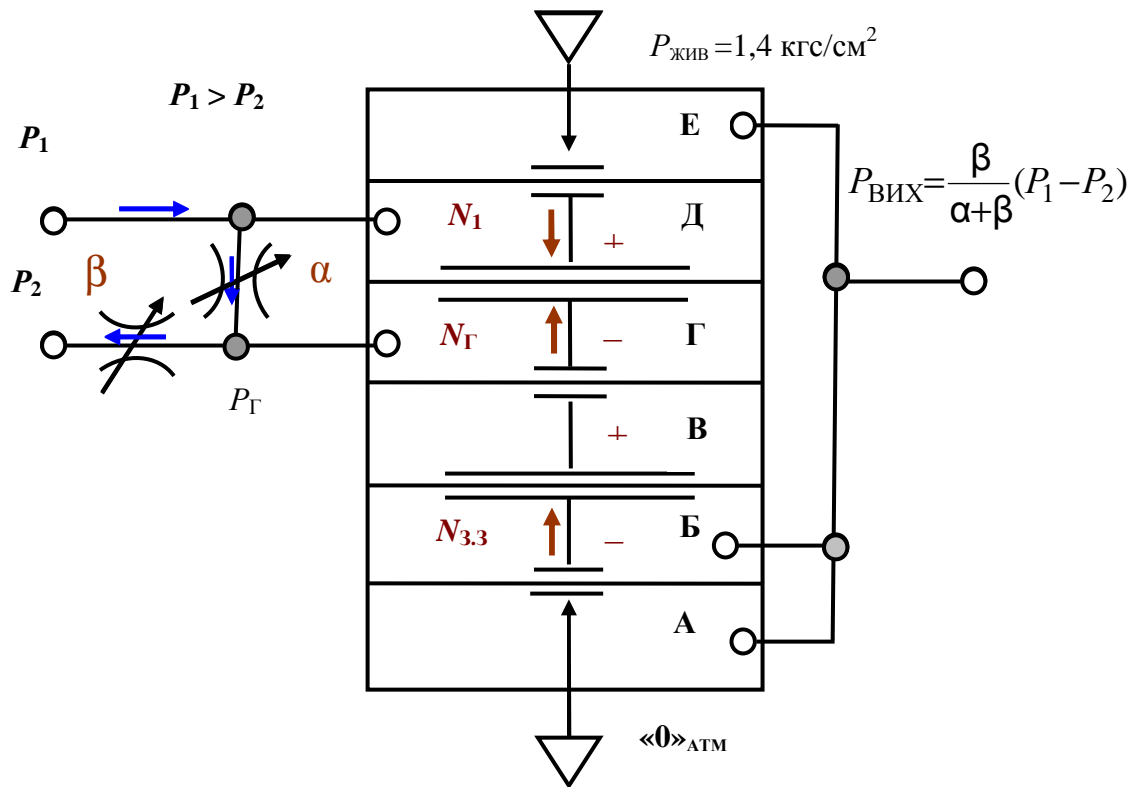


Рис. 61. Схема множення на коефіцієнт $K \leq 1$ двох сигналів

Підставляючи значення P_{Γ} в умову 1 і вирішуючи отримане рівняння відносно $P_{\text{вих}}$, знаходимо:

$$P_{\text{вих}} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} (P_1 - P_2). \quad (47)$$

5.5. Схема множення на коефіцієнт $K \geq 1$ двох сигналів з використанням додатного зворотного зв'язку

Деякі інші властивості має схема множення вхідного сигналу на коефіцієнт $K \geq 1$, представлена на рис. 62.

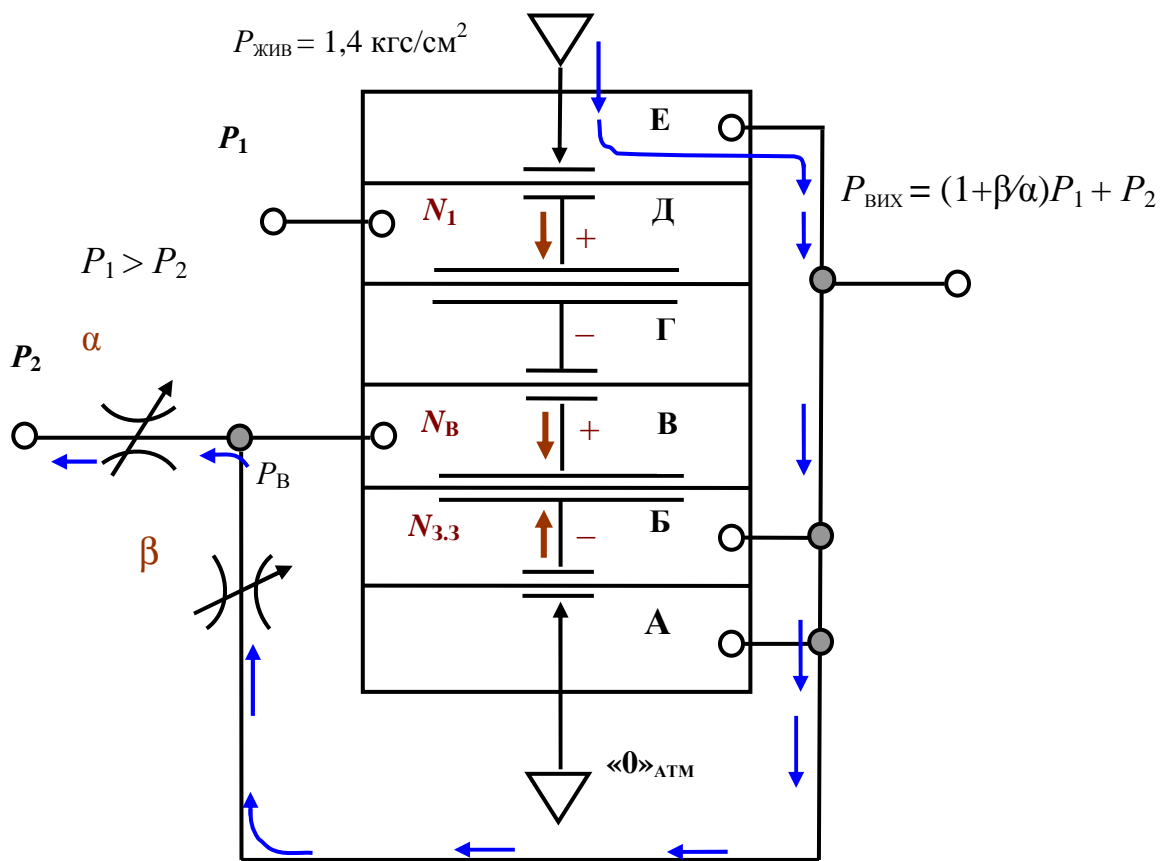


Рис. 62. Схема множення на коефіцієнт $K \geq 1$ двох сигналів з використанням додатного зворотного зв'язку

Записавши умову рівноваги і умову рівності витрат для цього випадку, отримаємо:

$$1. N_1 + N_B = N_{3.3} \Rightarrow P_1 + P_B = P_{\text{вих}} \quad (48)$$

$$2. q_\beta = q_\alpha \Rightarrow \beta(P_{\text{вих}} - P_B) = \alpha(P_B - P_2) \quad (49)$$

$$P_B = \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_{\text{вих}} + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_2. \quad (50)$$

Підставляючи в умову рівноваги, знаходимо:

$$P_{\text{вих}} = (1 + \beta/\alpha)P_1 + P_2. \quad (51)$$

Дана схема дозволяє в чистому вигляді множити на коефіцієнт більше одиниці перший тиск та додавати другий.

Наступна схема (рис. 63) дозволяє множити на коефіцієнт $K \geq 1$ вхідний сигнал з використанням трьох дроселів, увімкнутих як в додатний, так і у від'ємний зв'язок.

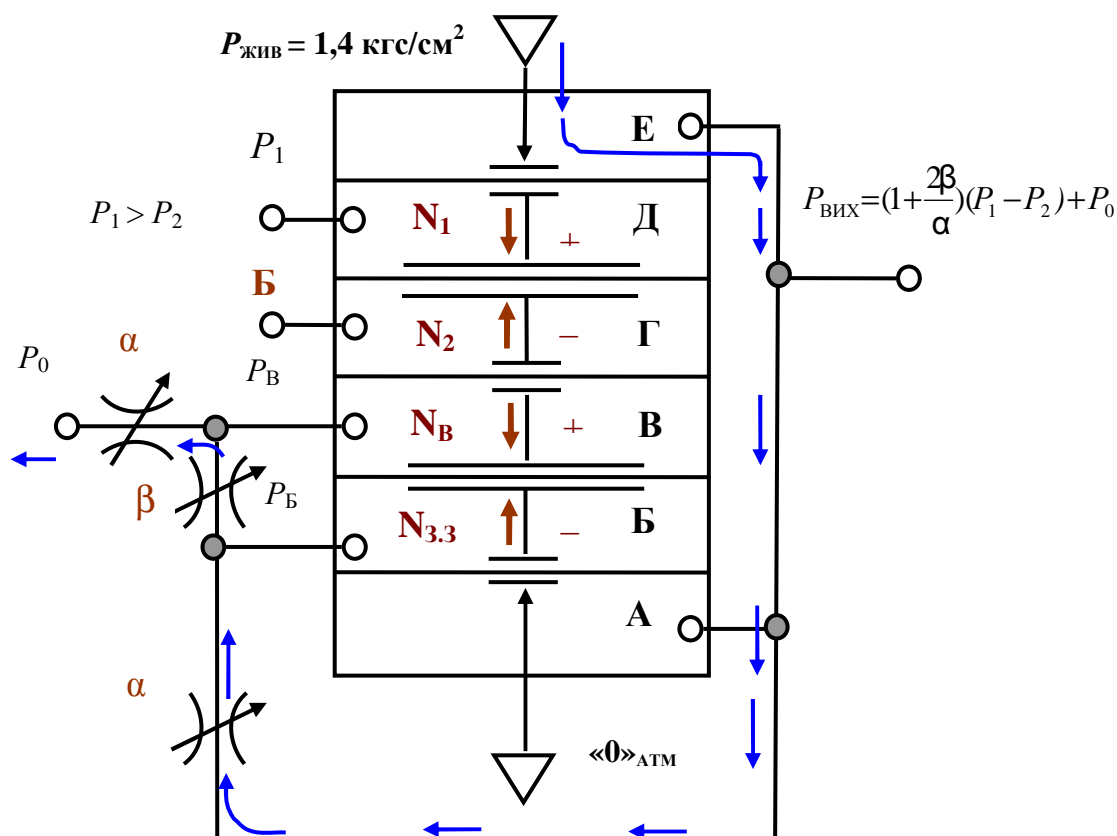


Рис. 63. Схема множення на коефіцієнт $K \geq 1$ двох сигналів $(P_1 - P_2)$ з використанням як додатного, так і від'ємного зворотних зв'язків

Для знаходження вихідного сигналу в цьому випадку необхідно скласти три рівняння: рівняння рівноваги; рівняння рівності витрат, яке дозволяє знайти тиск P_B ; рівняння рівності витрат, яке дозволяє знайти тиск P_B .

$$1. N_1 - N_2 + N_B - N_{3.3} = 0 \Rightarrow P_1 - P_2 + P_B - P_B = 0 \quad (52)$$

$$2. \alpha(P_{\text{вих}} - P_{\text{Б}}) = \beta(P_{\text{Б}} - P_{\text{В}}), \Rightarrow P_{\text{Б}} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_{\text{вих}} + \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_{\text{В}} \quad (53)$$

$$3. \beta(P_{\text{Б}} - P_{\text{В}}) = \alpha(P_{\text{В}} - P_0), \Rightarrow P_{\text{В}} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_{\text{Б}} + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_0 \quad (54)$$

З першого рівняння знаходимо $P_{\text{Б}}$ і підставляючи його в друге та в третє рівняння, отримаємо:

$$2. P_1 - P_2 + P_{\text{В}} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_{\text{вих}} + \frac{\beta}{\alpha + \beta} P_{\text{В}}. \quad (55)$$

$$3. P_{\text{В}} = \frac{\beta}{\alpha + \beta} (P_1 - P_2 + P_{\text{В}}) + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} P_0. \quad (56)$$

З другого рівняння знаходимо $P_{\text{В}}$ і підставляючи в третє, вирішуємо його відносно $P_{\text{вих}}$:

$$P_{\text{вих}} = (1 + \frac{2\beta}{\alpha})(P_1 - P_2) + P_0. \quad (57)$$

Наведемо приклад ще однієї схеми, яка вирішує ще більш складну задачу.

5.6. Будова пропорційних ланок

Це схема множення двох сигналів, яка використовується в пропорційних ланках (П – ланках) з лінійними характеристиками.

В цій схемі для знаходження вихідного сигналу також скористаємось умовою компенсації сил та умовою рівності витрат повітря, яке протікає через дроселя (рис. 64).

$$1. N_1 - N_2 + N_{\text{В}} - N_{3,3} = 0 \Rightarrow P_{\text{Д}} - P_{\text{Г}} + P_{\text{В}} - P_{\text{Б}} = 0 \quad (58)$$

$$2. q_1 = q_{\beta 1} \Rightarrow \alpha(P_1 - P_{\text{Д}}) = \beta_1(P_{\text{Д}} - P_{\text{Г}}) \Rightarrow P_{\text{Д}} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta_1} P_1 + \frac{\beta_1}{\alpha + \beta_1} P_{\text{Г}} \quad (59)$$

.

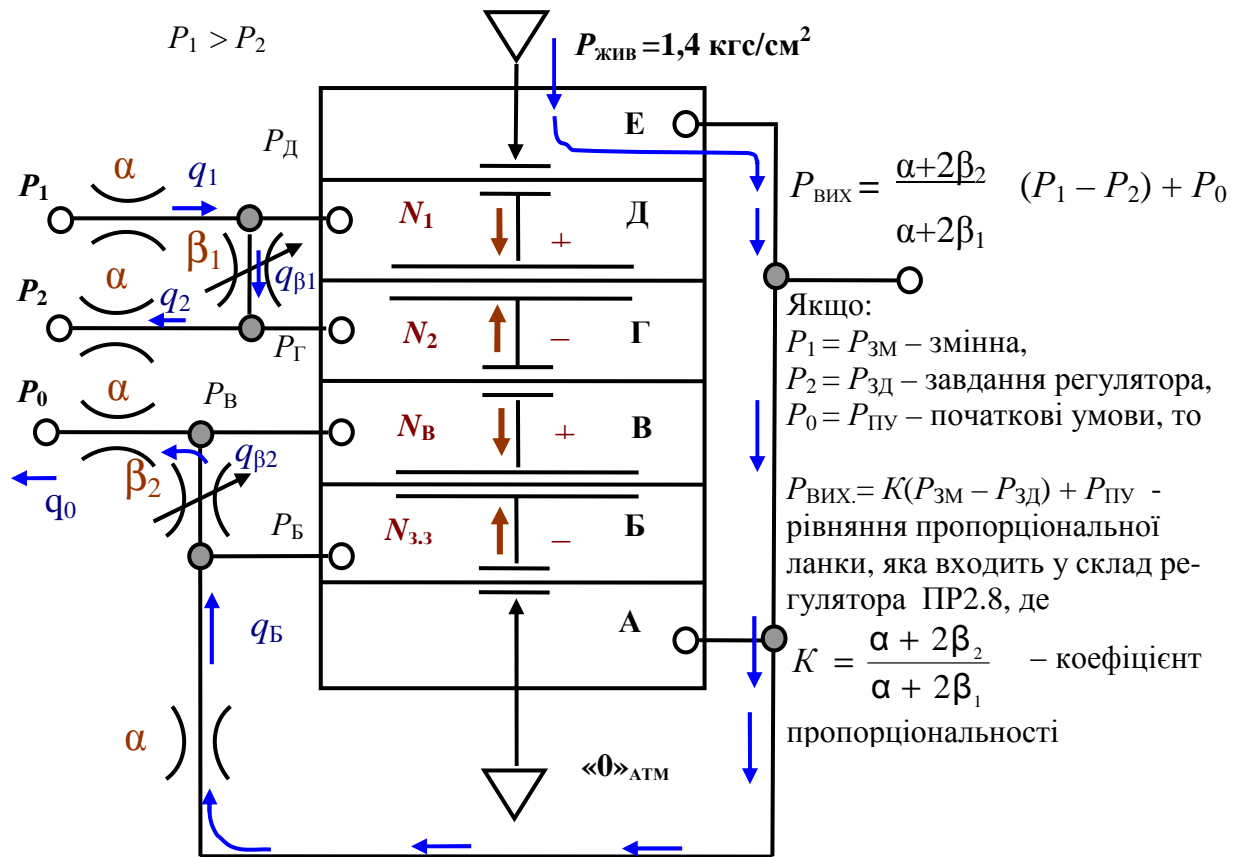


Рис. 64. Схема множення двох сигналів, яка використовується в пропорційній П – ланці з лінійними характеристиками

$$3. q_{\beta 1} = q_2 \Rightarrow \beta_1(P_{\text{Д}} - P_{\text{Г}}) = \alpha(P_{\text{Г}} - P_2) \Rightarrow P_{\text{Г}} = \frac{\beta_1}{\alpha + \beta_1} P_{\text{Д}} + \frac{\alpha}{\alpha + \beta_1} P_2 \quad (60)$$

$$4. q_{\text{Б}} = q_{\beta 2} \Rightarrow \alpha(P_{\text{вих}} - P_{\text{Б}}) = \beta_2(P_{\text{Б}} - P_{\text{В}}) \Rightarrow P_{\text{Б}} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta_2} P_{\text{вих}} + \frac{\beta_2}{\alpha + \beta_2} P_{\text{В}} \quad (61)$$

$$5. q_{\beta 2} = q_0 \Rightarrow \beta_2(P_{\text{Б}} - P_{\text{В}}) = \alpha(P_{\text{В}} - P_0) \Rightarrow P_{\text{В}} = \frac{\beta_2}{\alpha + \beta_2} P_{\text{Б}} + \frac{\alpha}{\alpha + \beta_2} P_0 \quad (62)$$

Підставляючи із 3-го рівняння значення $P_{\text{Г}}$, а з 5-го – значення $P_{\text{В}}$ в 1-е рівняння, маємо:

$$P_{\text{Д}} - \frac{\beta_1}{\alpha + \beta_1} P_{\text{Д}} - \frac{\alpha}{\alpha + \beta_1} P_2 + \frac{\beta_2}{\alpha + \beta_2} P_{\text{Б}} + \frac{\alpha}{\alpha + \beta_2} P_0 - P_{\text{Б}} = 0 \quad (63)$$

Перетворюючи, отримаємо:

$$1. \frac{\alpha}{\alpha + \beta_1}(P_d - P_2) + \frac{\alpha}{\alpha + \beta}(P_0 - P_B) = 0 \quad (64)$$

Підставляючи з 3-го рівняння значення P_d в 2-е, а з 5-го рівняння значення P_B в 4-е, отримаємо:

$$2. P_d = \frac{\alpha + \beta_1}{\alpha + 2\beta_1} P_1 + \frac{\beta_1}{\alpha + 2\beta_1} P_2 \quad (65)$$

$$4. P_B = \frac{\alpha + \beta_2}{\alpha + 2\beta_2} P_{\text{вих}} + \frac{\beta_2}{\alpha + 2\beta_2} P_0 \quad (66)$$

Далі підставляючи отримані значення P_d и P_B в нове перетворене 1-е рівняння, знаходимо $P_{\text{вих}}$:

$$\frac{\alpha}{\alpha + 2\beta_1} P_1 - \frac{\alpha^2 + \alpha\beta_1}{(\alpha + \beta_1)(\alpha + 2\beta_1)} P_2 + \frac{\alpha^2 + \alpha\beta_2}{(\alpha + \beta_2)(\alpha + 2\beta_2)} P_0 - \frac{\alpha}{\alpha + 2\beta_2} P_{\text{вих}} = 0$$

Остаточно:

$$P_{\text{вих}} = \frac{\alpha + 2\beta_2}{\alpha + 2\beta_1} (P_1 - P_2) + P_0. \quad (67)$$

Вираз $K = \frac{\alpha + 2\beta_2}{\alpha + 2\beta_1}$ – коефіцієнт пропорційності, якщо аналогічна схема застосовується в пропорційних П – регуляторах, наприклад, ПР2.8.

Нелінійний характер дії дросельних суматорів, які ввімкнуті у вхідну ланку та в ланцюг зворотного зв'язку практично однакові, крім того, їх дія направлена одна назустріч другому. Тому така схема має практично лінійну статичну характеристику. Це можна показати графічно (див. рис. 65).

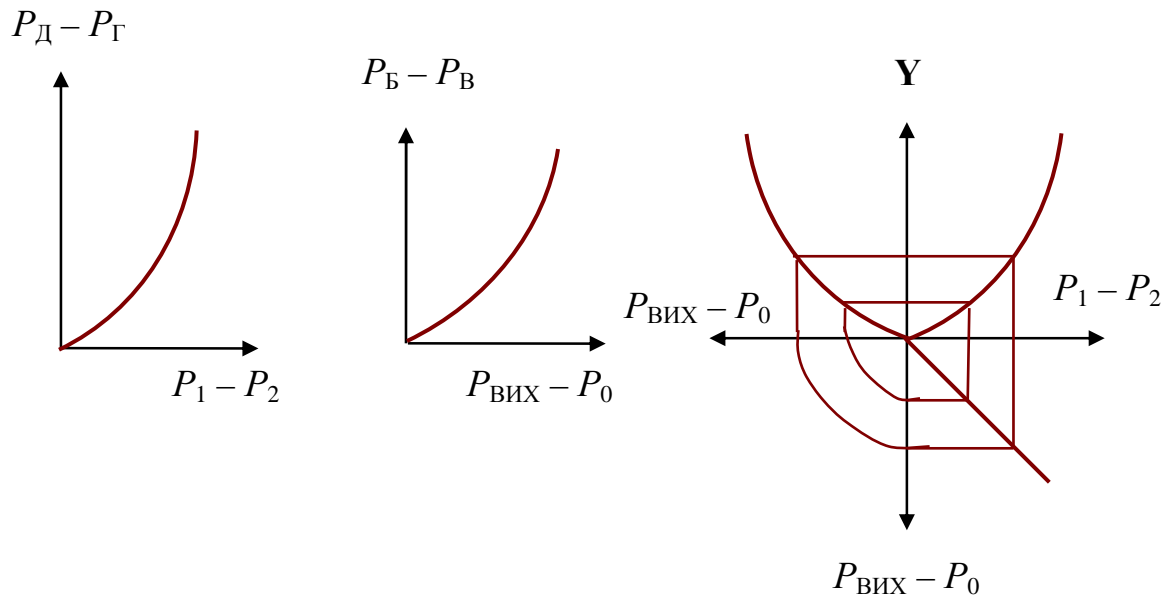


Рис. 65. Отримання лінійної статичної характеристики

Якщо постійні дроселі у входній лінії та в лінії зворотного зв'язку мають різні провідності (рис. 66), то вираз для коефіцієнта передачі буде мати децю інший вид:

$$K = \frac{(\beta + 2\beta_2)\alpha}{(\alpha + 2\beta_1)\beta}. \quad (68)$$

Як відомо, пропорційний закон регулювання має вид:

$$P_{ВИХ} = K_P(P_{ЗМ} - P_{ЗД}) + P_{П.У.} \quad (69)$$

Де $P_{ВИХ}$ – вихідний сигнал регулятора; $P_{ЗМ}$ – сигнал змінної;
 $P_{ЗД}$ – сигнал завдання; $P_{П.У.}$ – сигнал початкових умов; K_P – коефіцієнт передачі регулятора.

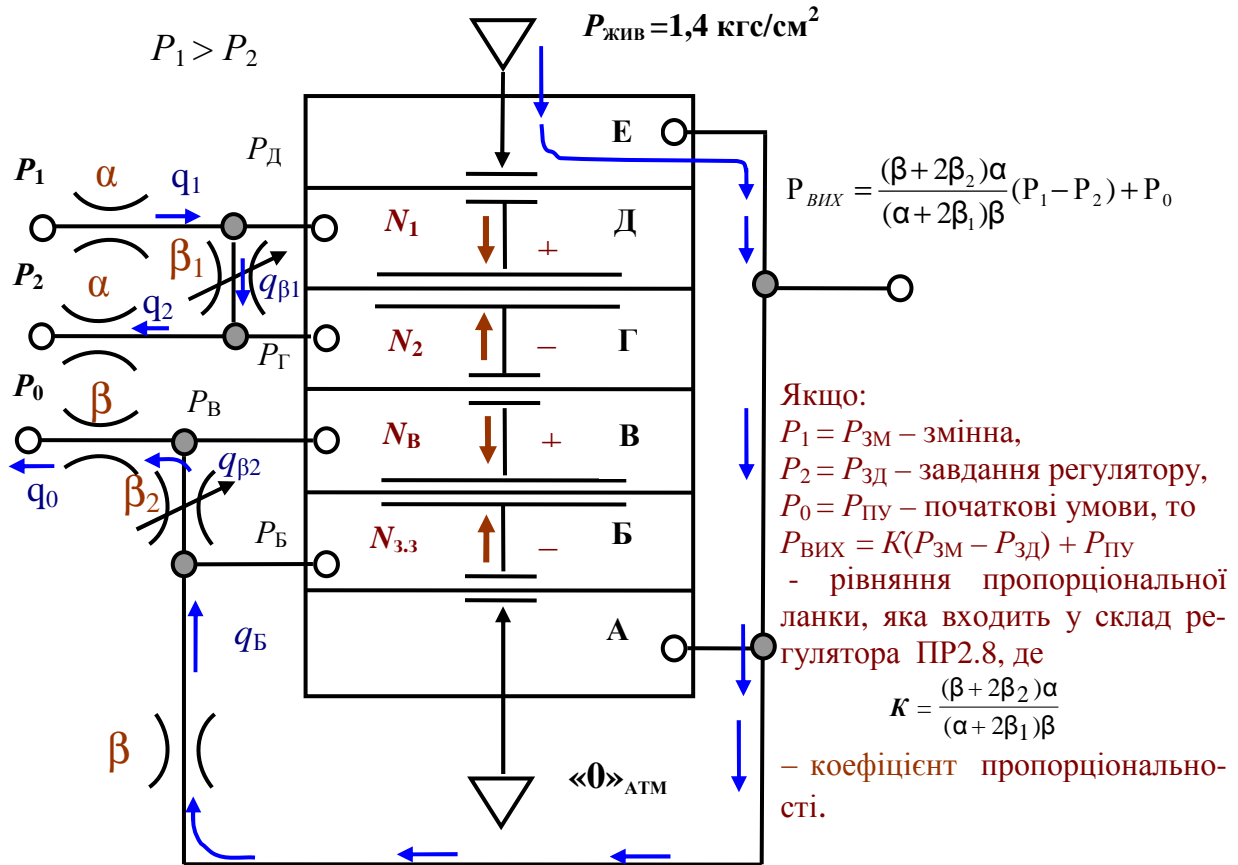


Рис. 66. Схема множення двох сигналів, яка використовується в пропорційній П – ланці з лінійними характеристиками

Такий пропорційний (П – закон) регулювання може також бути реалізовано за допомогою іншої пропорційної ланки, представленої на рис. 66.

Робота цієї ланки базується на операції множення на коефіцієнт $K \geq 1$, представленої на рис. 59. Згідно до цієї операції вихідний сигнал має вигляд: $P_{\text{ВИХ}} = \alpha/\beta (P_1 - P_2) + P_1$. Якщо зробити $P_1 = P_{\text{П.У.}}$, а $P_2 = P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}} + P_{\text{П.У.}}$, то отримаємо наступний вираз:

$$P_{\text{ВИХ}} = \alpha/\beta (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) + P_{\text{П.У.}} \quad (70)$$

Цей вираз представляє із себе рівняння пропорційного П – ре-

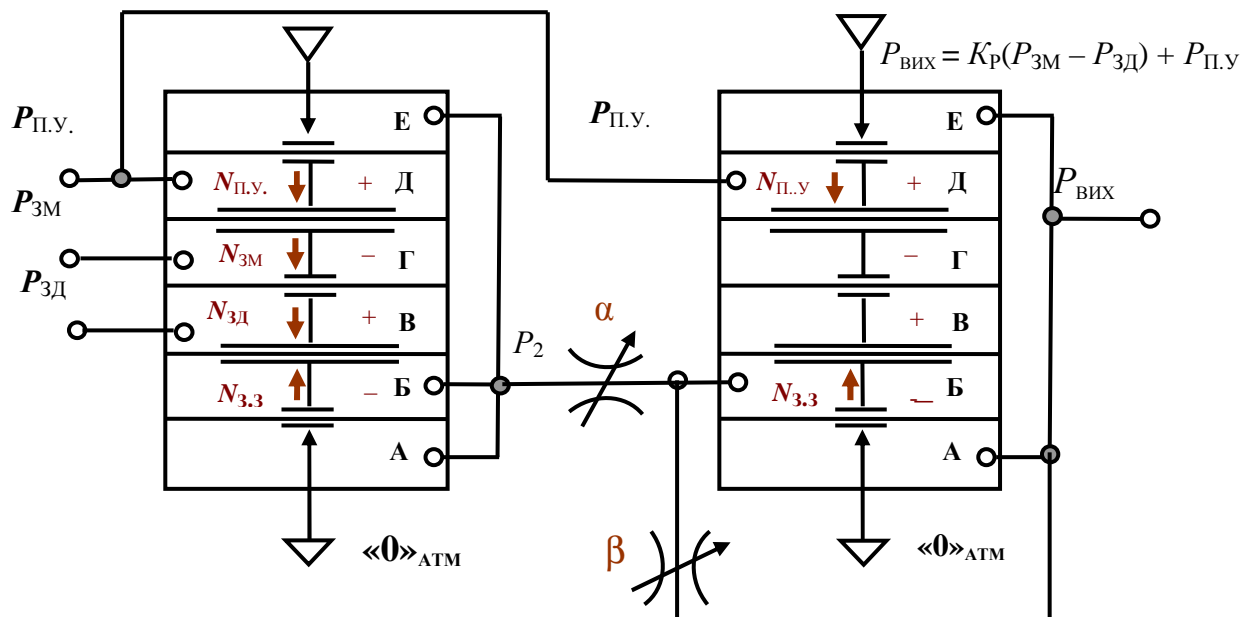


Рис. 67. Схема пропорційної П – ланки

гулятора с коефіцієнтом пропорційності $K_P = \alpha/\beta$. Цей коефіцієнт може бути як ≥ 1 , так і ≤ 1 .

Така пропорційна ланка є ядром регулятора ПР2.5 та входить в склад багатьох інших пневматичних регуляторів (ПР3.21, ПР3.23, ПР3.24, ПР3.25 та ін.).

6. ВИКОНАННЯ ДЕЯКИХ МАТЕМАТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ЕЛЕМЕНТАХ СИСТЕМИ УСЕППА

6.1 Порівняння двох сигналів з інвертуванням

Як вже було відмічено в главі 3, тримембранний елемент порівняння П2ЕС.1 дозволяє за видом вихідного сигналу визначити, який вхідний сигнал більше: P_1 чи P_2 . Однак, вихідний сигнал такого елемента слабкий

за потужністю і не може передаватись на великі відстані. Для підсилення такого сигналу за витратою (тобто, за потужністю) на виході елемента П2ЕС.1 зазвичай ставлять пневматичне реле, наприклад П1Р.1. Якщо ж виникає потреба інвертувати вихідний сигнал, тобто змінити 0 на 1, то ставлять реле з підпором П1Р.3. Спрощена конструкція такого реле показана на рис. 68, а схема такого найпростішого пристрою зображена на рис. 69.

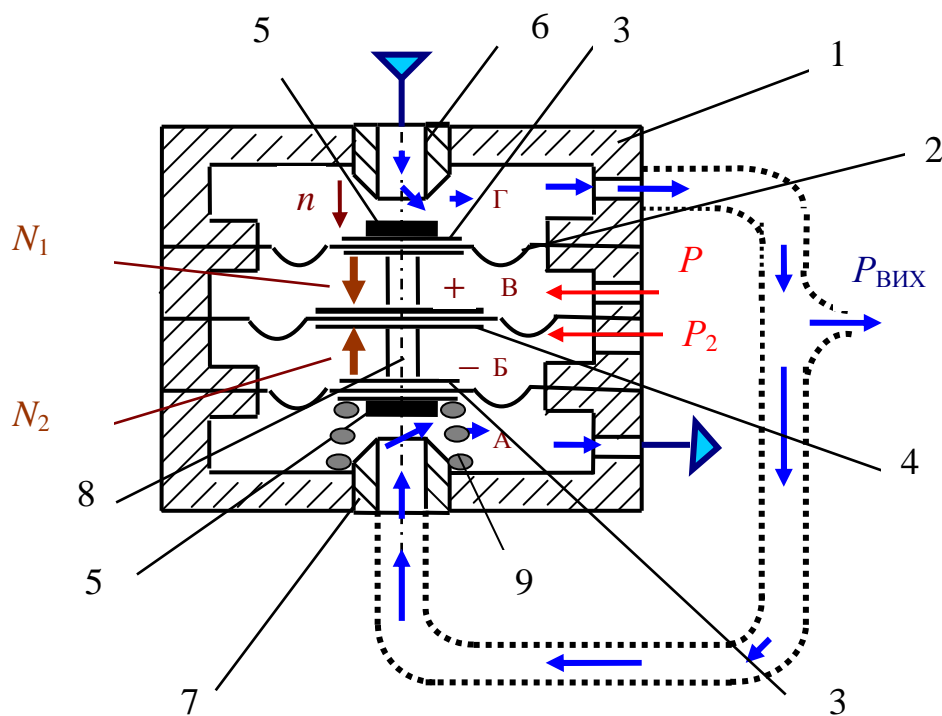


Рис. 68. Пневматичне реле з підпором П1Р.3

Будова такого реле відрізняється від реле, представленого на рис. 22 тим, що в камері А вмонтована пружина 9, яка задає початкове положення мембранного блока і створює натяг, еквівалентний натягу, який може створити тиск великого підпора, якщо цей тиск буде заведено в камеру Б. Нагадаємо, що тиск великого підпора $P_{\text{пдп. в}}$ дорівнює $(0,7 - 0,8)P_{\text{жив}} = (0,98 \dots 1,12) \text{ кгс/см}^2$.

Схема, представлена на рис. 69, складається із двох частин. Перша частина побудована на елементі П2ЕС.1 і має на своєму виході «1», якщо тиск $P_1 > P_2$. Якщо буде навпаки, то на виході цього елемента буде «0». Далі ці сигнали інвертуються (тобто «1» змінюється на «0», а «0» змінюється на «1») і підсилюються за витратою на реле с підпором П1Р.3. Для відключення дії підпора в додатну камеру цього реле заводиться командний тиск $P_{\text{КОМ}}$, який приблизно дорівнює тиску великого підпора і який створює еквівалентне зусилля, дещо більше зусилля натягу пружини, розташованої в камері А. Тобто, на виході цієї схеми маємо:

якщо $P_1 > P_2$, то $P_{\text{ВИХ}} = 0$;

якщо $P_1 < P_2$, то $P_{\text{ВИХ}} = 1$.

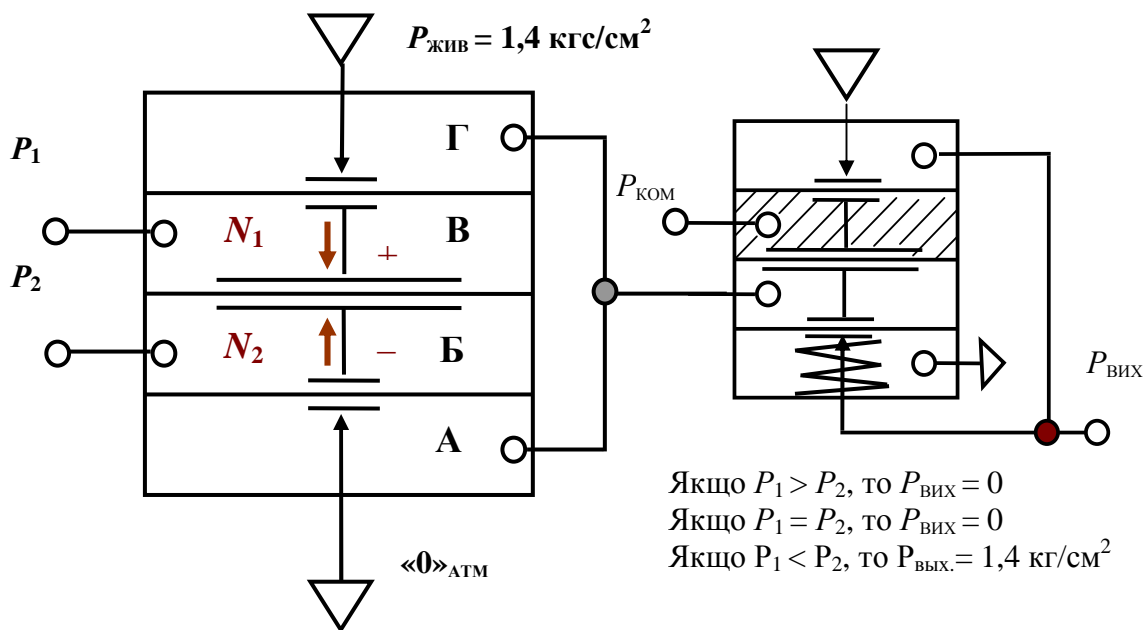


Рис. 69. Схема порівняння з підсиленням та інвертуванням сигналу

6.2. Схема множення різниці двох сигналів на постійний коефіцієнт з підсиленням потужності

На рис. 63 вже була представлена схема, дозволяла множити різницю двох сигналів на додатний коефіцієнт, який більше, ніж одиниця. Але, така схема не дозволяє передати вихідний сигнал на велику відстань. Для цього в схему додатково включають точний потужний повторювач сигналу П2П.7 (рис. 70) системи елементів УСЕППА, який дозволяє передати

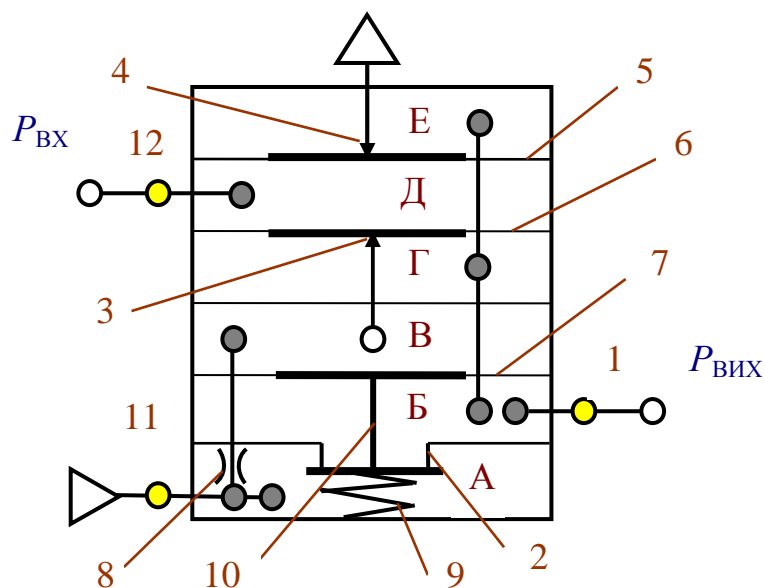


Рис. 70. Принципова схема пневмоповторювача – підсилювача потужності П2П.7

сигнал на відстань до 300 м. Цей підсилювач повторює вхідний сигнал за тиском з точністю класу 0,5 і підсилює його за витратою. Він складається з чотирьох секцій та трьох плоских гумотканевих

мембран 5,6,7, які, в свою чергу, разом створюють шість камер – А, Б, В, Г, Д і Е, а також клапана і двох пар «сопло – заслінка». Вхідний тиск через канал 12 подається в камеру Д. Тиск живлення через канал 11 поступає безпосередньо в камеру А і через пневмоопір 8, конструктивно вмонтований в секцію, – в камеру В. Виходом елемента є канал 1. Камера В є ємністю, яка знаходиться між нерегульованим пневмоопором 8 та пневмоопором, створеним парою «сопло – заслінка» 3. Величина тиску в ємності, значення якого залежить від величини вхідного тиску, керує витратою повітря, яке протікає через клапан 2 в камері А. Вихідна камера Б сполучена

з камерами зворотного від'ємного зв'язку Г і Е. При збільшенні вхідного тиску в камері Д скидання в атмосферу повітря через пару «сопло – заслінка» 4 зменшується, мембрани 6 і 7 прогинаються в сторону камери Б, збільшуючи прохідний переріз клапана 2 і вихідний тиск збільшується. Пнеумоповторювач працює аналогічно при зменшенні вихідного тиску, наприклад, при збільшенні споживання повітря.

При зменшенні вхідного тиску і, відповідно, зменшенні тиску в камері В або при збільшенні тиску на виході, тиск в камері Е збільшує прохідний переріз пари «сопло – заслінка» 4, мембрана 7 прогинається вгору і тиск на виході пнеумоповторювача зменшується.

Поріг його чутливості 0,1 % від робочого діапазону зміни вихідного сигналу.

Схема, яка дозволяє передати на відстань добуток різниці двох сигналів з підсиленням за витратою вихідного сигналу, зображена на рис. 71.

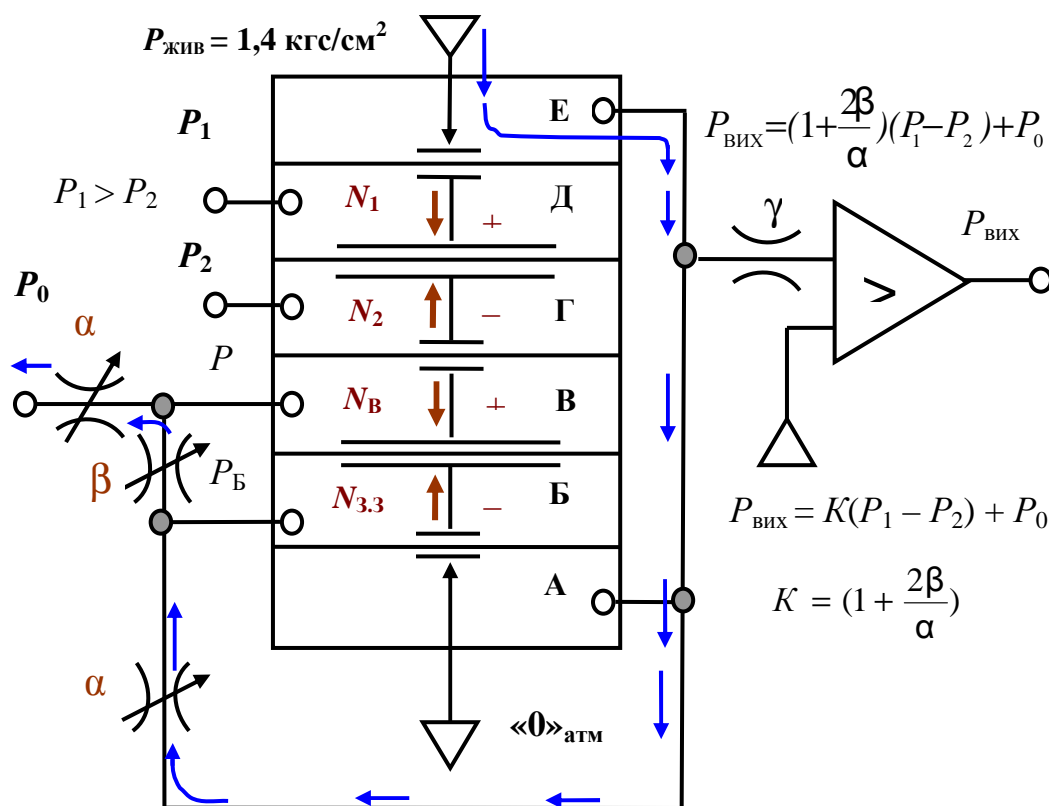


Рис. 71. Схема множення на коефіцієнт $K \geq 1$ двох сигналів $(P_1 - P_2)$ з підсиленням потужності

Вивід рівняння, яке визначає значення вихідного сигналу для даної схеми, було показано в прикладі, показаному на рис. 63.

Значення вихідного сигналу визначається формулою:

$$P_{\text{вих}} = (1 + \frac{2\beta}{\alpha})(P_1 - P_2) + P_0. \quad (71)$$

6.3. Схеми селекції (вибору) мінімального та максимального сигналів з групи вхідних сигналів

Ці схеми дозволяють вибрати з n вхідних сигналів самий малий або самий великий сигнал. Створюються вони з використанням точних малопотужних повторювачів із зсувом П2П.2 та використовуються при вирішенні різних задач керування. Принцип роботи схеми, побудованої з використанням точного малопотужного повторювача П2П.1, яка вибирає самий малий сигнал тиску із 2-х пояснюється при допомозі рис. 72. А схема, яка вибирає самий малий сигнал із 4-х, приведена на рис. 73. В цій схемі використовується точний малопотужний повторювач із зсувом П2П.2.

В прикладі, показаному на рис. 72 перший вхідний тиск $P_{\text{вх } 1}$ більше другого вхідного тиску $P_{\text{вх } 2}$. Якщо не подано тиск живлення, то ці вхідні тиски створюють вхідні сили $N_{\text{вх } 1}$ і $N_{\text{вх } 2}$, які заставляють мембранні блоки опускатися в нижнє крайнє положення і затуляють сопла, які сполучають камери A_1 та A_2 з атмосферою. В той час, коли стрибком подається тиск живлення, камери A_1 і A_2 починають заряджатися по експоненціальному закону, так як вони разом з дроселем α представляють із себе інерційну ланку першого порядку. Камери A_1 і A_2 представляють із себе одне ціле і заряджаються синхронно. Як тільки тиск в цих камерах досягне значення мінімального вхідного сигналу $P_{\text{вх } 2}$, мембранний блок другого елемента прийде в стан рівноваги і його сопло дещо трохи відкриється і почне скидати надлишковий тиск в атмосферу.

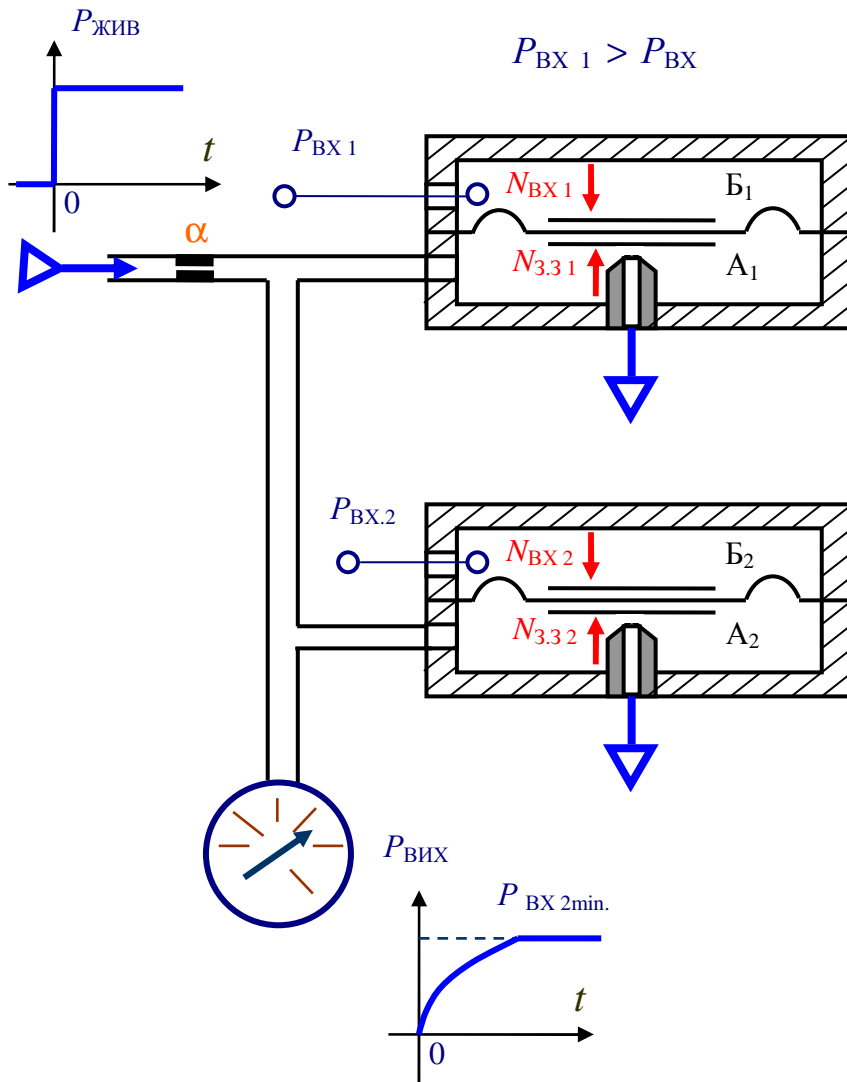
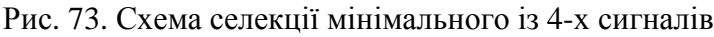


Рис. 72. Схема селекції мінімального із 2-х сигналів

Його рівновага можлива лише тоді, коли сила зворотного зв'язку $N_{3.3 2}$, яка формується в камері A_2 , буде дорівнювати входній силі $N_{BX 2}$. А це можливо лише тоді, коли тиск в камері A_2 буде дорівнювати $P_{BX 2}$. Оскільки камери A_1 і A_2 – одне ціле і зв'язані з вихідною лінією, то на виході буде також мінімальний тиск $P_{ВЫХ} = P_{BX 2}$.



92

нутими на певну величину при допомозі спеціальних пружин. При роботі вище розглянутих двох останніх схем використовується просте правило: першим після подачі тиску живлення починає працювати той елемент, мембрана якого притиснута найменшим вхідним зусиллям.

Дещо інакше працюють схеми, які вибирають самий великий (максимальний) із вхідних сигналів.

На рис. 74 представлена схема вибору (селекції) максимального із двох вхідних сигналів, яка побудована на точних малопотужних повторювачах П2П.1. В цій схемі, також, як і в схемі на рис. 66, в початковий момент часу, коли нема тиску живлення, мембранні блоки під дією вхідних тисків знаходяться в нижньому крайньому положенні, затуляючи сопла, які зв'язують нижні камери з атмосферою. Згідно умови, яка показана на рис. 74, другий вхідний тиск більше першого. При подачі тиску живлення зростання тиску почнеться спочатку тільки в нижній камері A_1 першого елемента (елемента 1), так як в цій схемі комутація повторювачів П2П.1 здійснюється не паралельно, як в схемі на рис. 73, а послідовно. Це зростання тиску буде відбуватись по експоненціальній залежності до значення першого вхідного сигналу – тиску $P_{ВХ\ 1}$. Як тільки тиск в підмембранній камері A_1 стане дорівнювати цьому вхідному тиску, мембранний блок прийде в стан рівноваги і трохи припідніметься. Тиск із камери A_1 почне стравлюватися в підмембранну камеру другого елемента A_2 і на деякий короткий час на виході схеми сформується вихідний сигнал $P_{ВІХ} = P_{ВХ\ 1}$. Треба зауважити, що на цей відрізок часу підмембранна камера A_2 виконує роль атмосфери. Як тільки камера A_2 зарядиться до тиску $P_{ВХ\ 1}$, відбудеться порушення рівноваги першого мембранного блока елемента 1: сила, яка діє вгору стане більше сили, яка діє вниз. Мембрана першого елемента підніметься в верхнє крайнє положення і дві підмембранні камери A_1 і A_2

будуть створювати єдину ємність. Ця ємність почне заряджатися до наступного вхідного тиску $P_{ВХ.2}$ по експоненціальному закону.

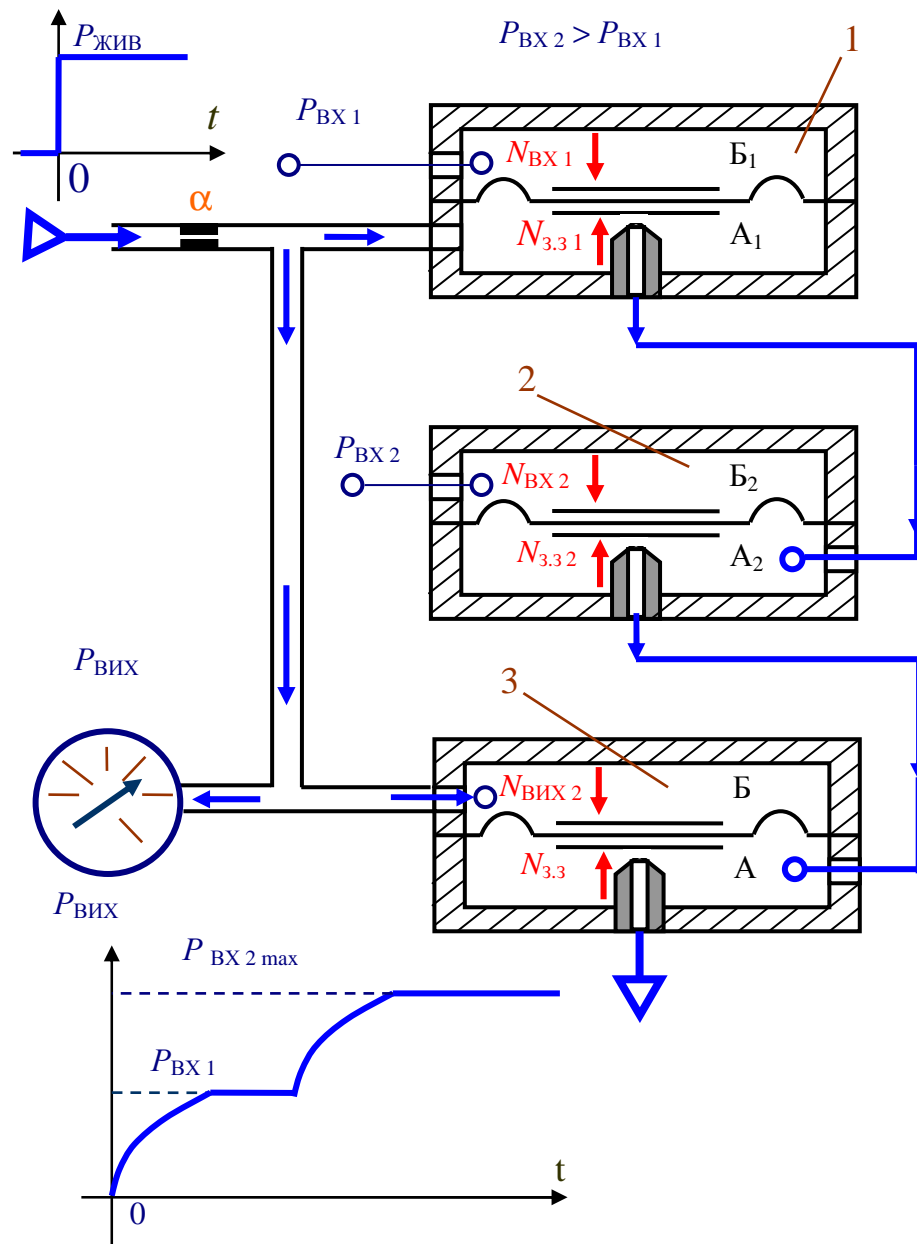


Рис. 74. Схема селекції (вибору) максимального із 2-х сигналів

Як тільки вона зарядиться до цього тиску, то наступить момент рівноваги мембранного блока другого повторювача П2П.1 (елемента 2). Мембрана цього елемента припідніметься і повітря почне стравлюватися через сопло, яке відкрилося в підмембранну камеру А повторювача 3. В вихідній лінії

сформується максимальний вхідний сигнал $P_{\text{вих}} = P_{\text{ВХ } 2 \text{ max}}$. Необхідно зауважити, що при цьому сопло першого елемента повністю відкрито. Як тільки підмембранна камера А елемента 3 зарядиться до максимального вхідного тиску $P_{\text{ВХ } 2 \text{ max}}$, мембранний блок цього елемента прийде в стан рівноваги, дещо припідніметься и через його сопло, що відкрилося надлишкове повітря почне стравлюватися в атмосферу. Оскільки камера Б повторювача 3 зв'язана з вихідною лінією, то він буде повторювати максимальний вхідний сигнал і на виході схеми буде сформовано сигнал $P_{\text{вих}} = P_{\text{ВХ } 2 \text{ max}}$. Наявність повторювача 3 необхідно для того, щоб в схемі скінчилися всі перехідні процеси і не виникало автоколивань (особливо, при великій кількості елементів). Крім того, він дозволяє знизити статичну похибку, заставляючи повністю відкритися сопла не працюючих елементів (особливо, якщо їх багато).

На рис. 75 представлена схема вибору максимального із 4-х вхідних сигналів. Ця схема, як і схема на рис. 73, побудована на малопотужних повторювачах із зсувом П2П.2. Оскільки сумарні зусилля, які притискають мембрани елементів в цій схемі формуються завдяки не тільки вхідним тискам, але й и силам натягу пружин, то при визначенні вихідного сигналу необхідно враховувати і сили цього натягу. Дія цієї схеми аналогічна дії схеми, розглянутої на рис. 74. При подачі ступеневого збурення у вигляді тиску живлення $P_{\text{жив}}$ спочатку починає працювати перший елемент. Коли підмембранна камера другого елемента A_2 зарядиться до тиску P_1 , мембрана першого елемента підніметься в верхнє крайнє положення і дві камери A_1 і A_2 будуть заряджатися по експоненті до тиску P_2 . Далі на виході на якийсь час буде триматися сигнал, який дорівнює P_2 . Коли підмембранна камера A_3 зарядиться до тиску P_2 , мембранний блок другого елемента повністю підніметься і на виході буде формуватися сигнал по експоненті до тиску P_3 . Далі формування вихідного сигналу буде здійснюватись третім

елементом. Оскільки цей сигнал максимальний, то він і буде зберігатись на виході. Мембранний блок четвертого елемента займе верхнє крайнє положення і на вихідний сигнал четвертий елемент впливати не буде, так як за умовою $P_4 < P_3$.

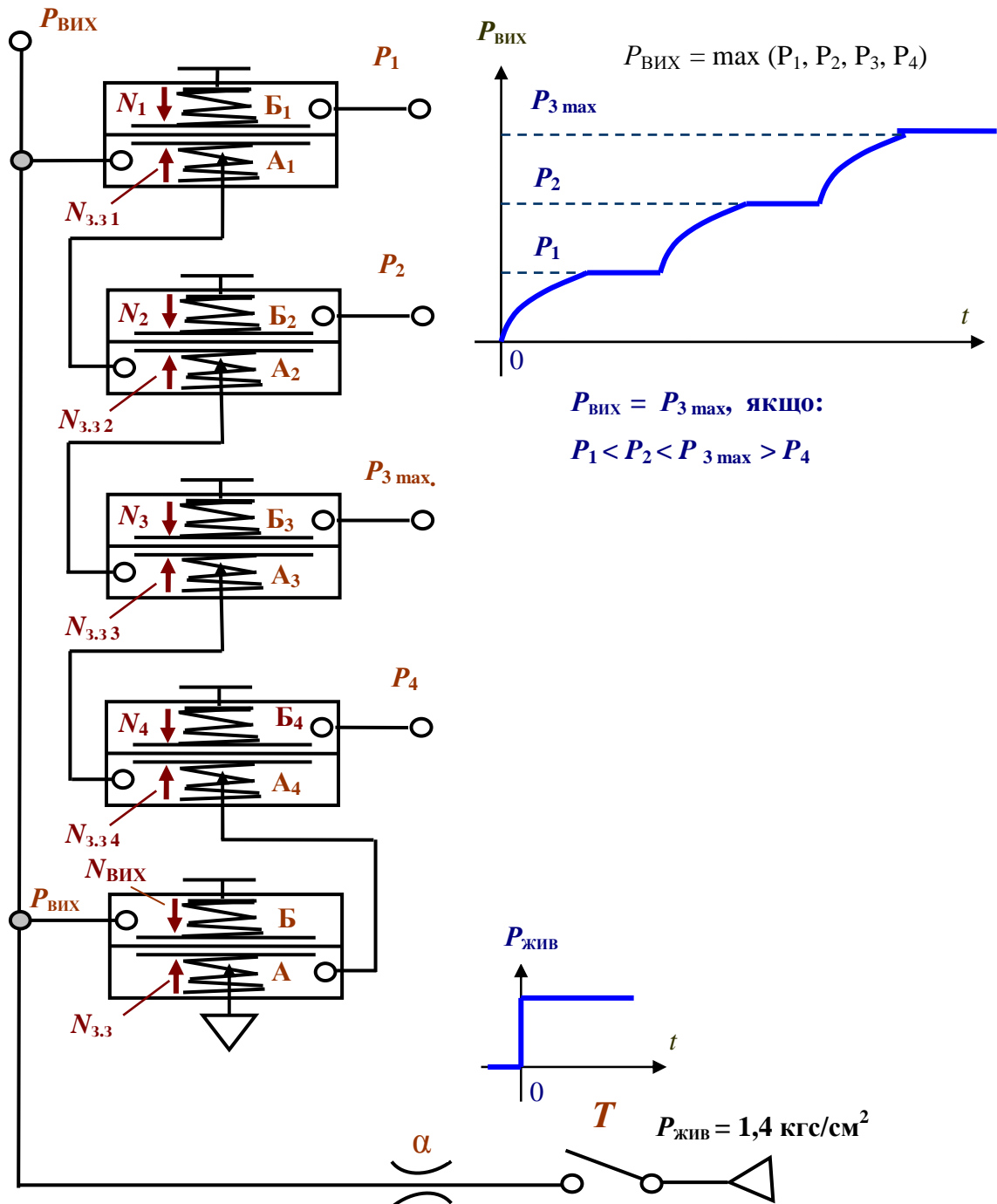


Рис. 75. Схема селекції максимального із 4-х сигналів

6.4. Роботи приладу системи «Старт» ПФ1.17

Схема вибору мінімального сигналу лежить в основі роботи приладу системи «Старт» ПФ1.17, який застосовується для добутку квадратного кореня із сигналу, що поступає на його вхід.

Принцип дії приладу базується на кусково-лінійній апроксимації параболічної залежності виду

$$P_{вих} = \sqrt{0,08(P_{вх.} - 0,02)} + 0,02, \quad (72)$$

де $P_{вх}$ і $P_{вих}$ – відповідно вхідний і вихідний тиск, МПа.

Наведена параболічна залежність апроксимується ломаною лінією, яка складається із трьох прямих відрізків (рис. 75), кожний із яких, в свою чергу, описується рівнянням

$$P_{вих} = K_i P_{вх} + \Delta P_i, \quad (73)$$

де $i=1,2,3$; $P_{вх.}$, $P_{вих.}$, ΔP_i і K_i – відповідно вхідні і вихідні тиски, зміщення та кут нахилу на i -му відрізку.

На першому відрізку $K_1 = 1,09$, на другому – $K_2 = 0,77$, на третьому – $K_3 = 0,585$.

Вхідний сигнал $P_{вх}$ повинен лежати в межах 0,03...0,1 МПа. Однією з причин цього є трудність добутку квадратного кореня із перепаду тиску, який виникає на звужуючих пристроях при вимірюванні витрат рідин чи газів на малих значеннях витрат. Крім того, на відрізку вхідного тиску 0,02...0,03 МПа кут нахилу апроксимуючої залежності дуже крутий, що не дозволяє достатньо точно отримати однозначну залежність між вхідним і вихідним тисками.

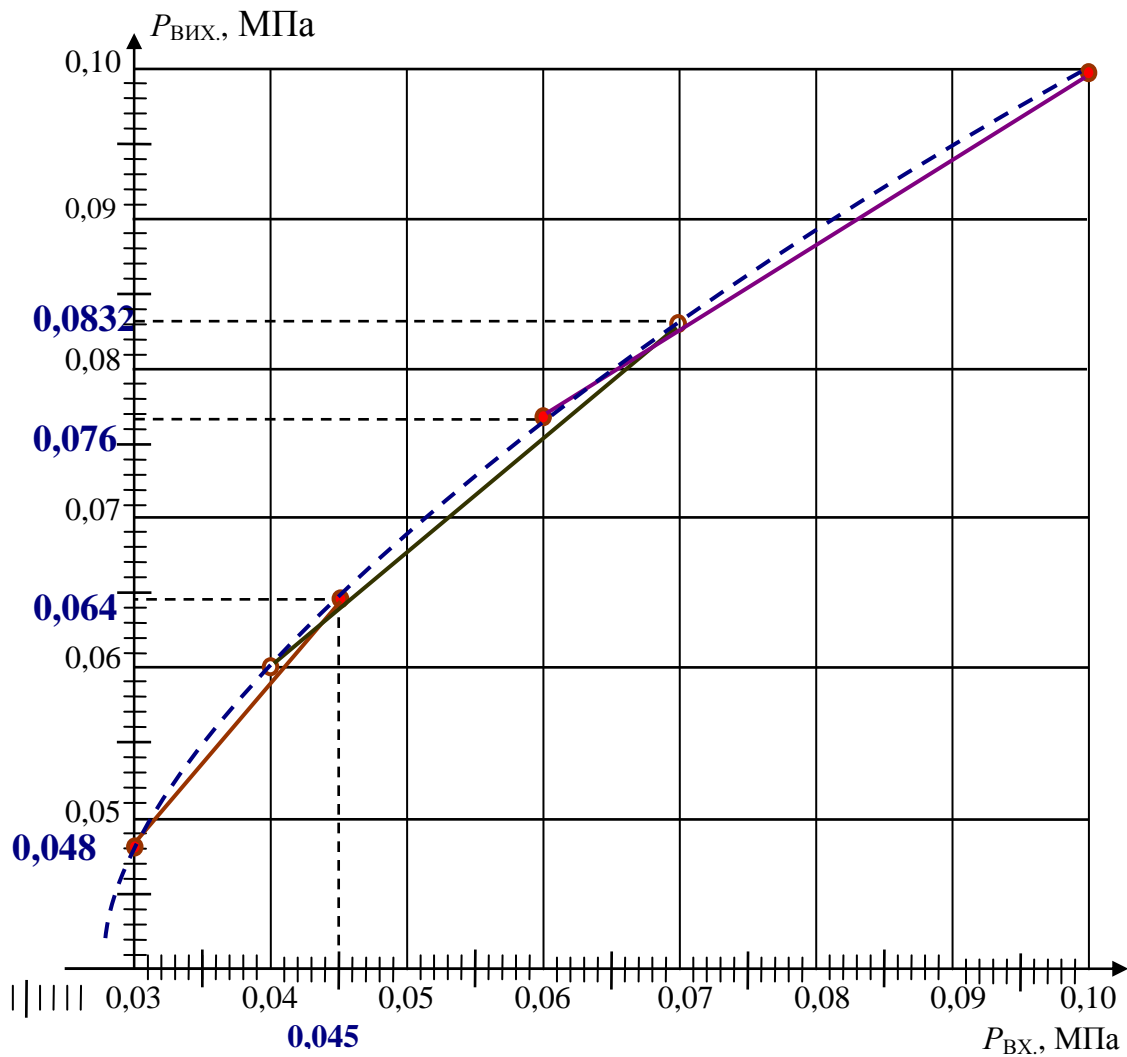


Рис.76. Апроксимація параболічної залежності приладу ПФ1.17

Схема приладу показана на рис.77. Він складається із задавача 1; двох дросельних суматорів-дільників, які, в свою чергу, складаються з постійних 2, 5 та змінних пневмоопорів 3, 4; трьох повторювачів зі зсувом 6, 7, 8; елемента порівняння 9; підсилювача потужності 10; постійних дроселів α_1 та α_2 .

Прилад працює наступним чином. Вхідний тиск поступає одночасно в додатні камери Б трьох повторювачів 6, 7 і 8. Однак в додатну камеру Б повторювача 6 він поступає безпосередньо. Тому на його виході він по-

вторюється без зміни з коефіцієнтом передачі $K_1 = 1$. Саме цей повторювач і формує вихідний сигнал на першому відрізку перетворення вхідного сигналу $P_{ВХ} = 0,03 \dots 0,045$ МПа.

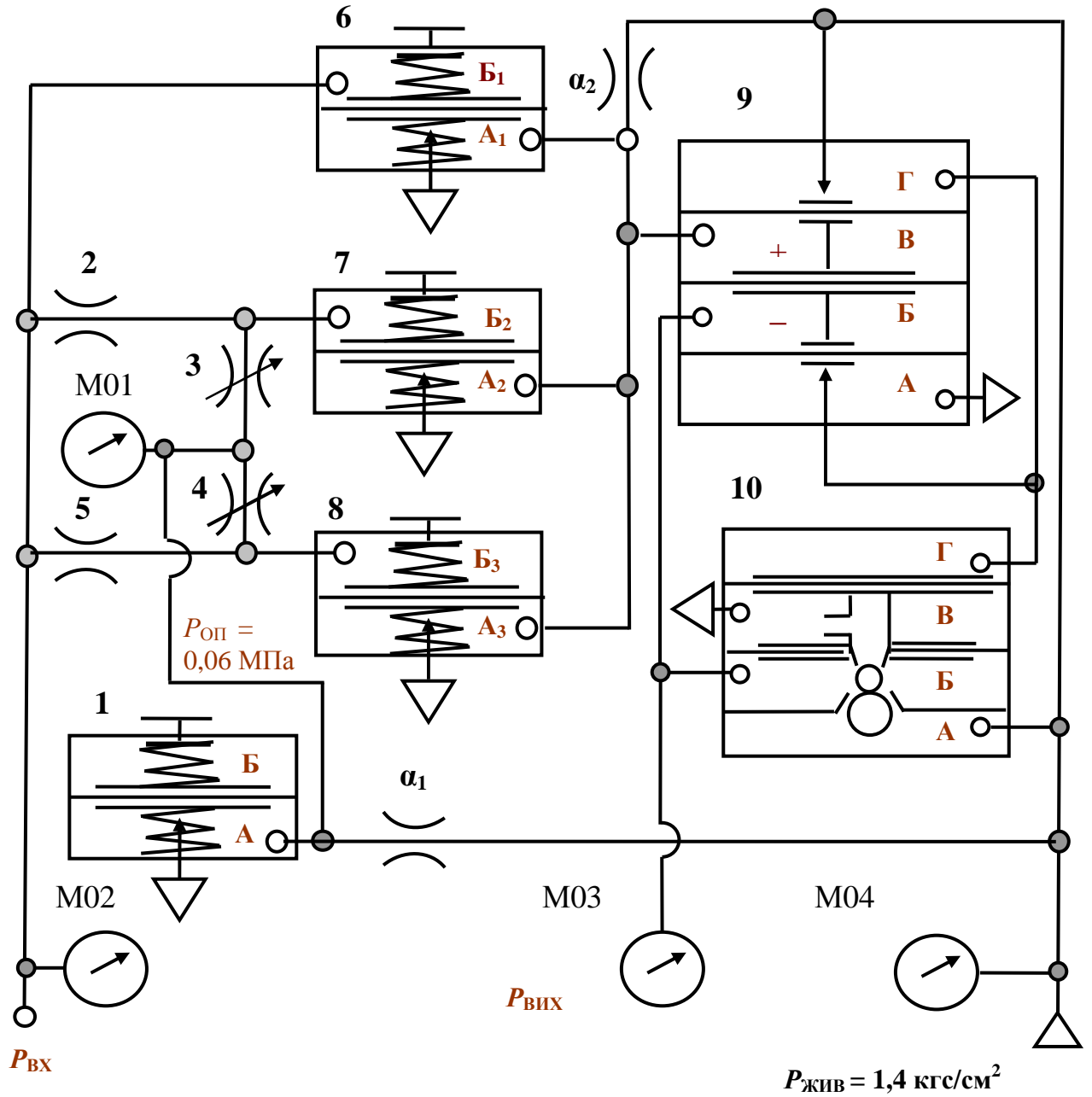


Рис. 77. Схема приладу добутку кореня квадратного ПФ1.17

Кут нахилу характеристики на першому відрізку перетворення $\alpha = 45^\circ$. Однак, у зв'язку з тим, що на виході приладу формується сигнал за допомогою тримембранного елемента порівняння П2ЕС.1, включеного за релейною схемою, коефіцієнт перетворення на першому відрізку K_1 буде дорівнювати $K_1 = 1,09$.

Експериментально цей коефіцієнт визначається наступним чином.

$$K_1 = \frac{P_{вих}(0,045) - P_{вих}(0,03)}{0,045 - 0,03}. \quad (74)$$

На другому відрізку апроксимуючої залежності, зміна вхідного сигналу на якому лежить в межах 0,04...0,07 МПа, коефіцієнт перетворення повинен дорівнювати $K_2 = 0,77$. Цей кут задається за допомогою постійного дроселя 2 та змінного дроселя 3. Для отримання лінійної залежності опорний тиск $P_{оп}$ після змінного дроселя 3 підтримується величиною 0,06 МПа за допомогою задатчика 1.

Коефіцієнт K_2 визначається, як

$$K_2 = \frac{P_{вих}(0,07) - P_{вих}(0,04)}{0,07 - 0,04} \quad (75)$$

Для забезпечення надійності переключення початок другого відрізка і кінець першого відрізка пересікаються (точки 0,04 МПа і 0,045 МПа відповідно). Загальне рівняння перетворення вхідного тиску на відрізках без кінцевого зсуву виглядає наступним чином:

$$P_{*вих} = K_i(P_{вх} - 0,06) + 0,06, \text{ МПа.} \quad (76)$$

Для другого відрізка його можна отримати наступним чином.

Якщо записати провідність дроселя 2 через β_2 , а провідність дроселя 3 через β_3 , то згідно до рівняння дросельного суматора тиск, який поступає в камеру B_2 повторювача 7 визначається наступним чином:

$$P_{вх2} = \frac{\beta_2}{\beta_2 + \beta_3} P_{вх} + \frac{\beta_3}{\beta_2 + \beta_3} 0,06, \text{ МПа.} \quad (77)$$

В іншому виді ця формула виглядає так:

$$P_{BX2} = \frac{b_2}{b_2 + b_3} P_{BX} + \left(1 - \frac{b_2}{b_2 + b_3}\right) 0,06. \quad (78)$$

Звідси легко можна отримати:

$$P^*_{ВИХ2} = P_{BX2} = \frac{b_2}{b_2 + b_3} (P_{BX} - 0,06) + 0,06. \quad (79)$$

де
$$K_2 = \frac{\beta_2}{\beta_2 + \beta_3}.$$

Для другого відрізка

$$P^*_{ВИХ2} = 0,77(P_{BX} - 0,06) + 0,06 = 0,77P_{BX} + 0,0138 \quad (80)$$

0,0138 МПа – початковий зсув прямої, який визначається опорним тиском $P_{оп.} = 0,06$ МПа. Остаточний зсув встановлюють згідно рівняння параболічної залежності

$$P_{ВИХ} = \sqrt{0,08(P_{BX} - 0,02)} + 0,02, \text{ МПа} \quad (81)$$

і згідно графіка апроксимації (рис. 76).

Для другого відрізка цей зсув визначається наступним чином.

Береться довільна точка вхідного тиску на апроксимуючій прямій, наприклад, 0,07 МПа і визначається відповідний її значенню вихідний тиск $P_{ВИХ} = 0,0832$ МПа. Рівняння для другого відрізка виглядає так:

$$P_{ВИХ} = 0,77P_{ВХ} + \Delta P_2. \quad (82)$$

Підставляючи відповідні значення $P_{ВХ}$ і $P_{ВИХ}$, маємо:

$$0,0832 = 0,77 \times 0,07 + \Delta P_2, \quad (83)$$

звідки $\Delta P_2 = 0,0293$ МПа – величина остаточного тиску зсуву на другому відрізка. Треба зауважити, що тиск остаточного зсуву ΔP_i – це такий тиск, який створює таке саме еквівалентне зусилля, яке створюється сумою сили натягу пружини та ефективної сили тиску початкового натягу.

знайти Аналогічно визначаються коефіцієнти кутів нахилу K_1 і K_3 , рівняння апроксимуючих прямих, початкові і остаточні зсуви на першому та третьому відрізках.

K_1 було визначено раніш, а K_3 визначається наступним чином:

$$K_3 = \frac{P_{вих}(0,09) - P_{вих}(0,06)}{0,09 - 0,06} \quad (84)$$

Рівняння для першого відрізка немає початкового зсуву. Тому остаточний зсув на першому відрізка задається тільки натягом пружини.

$$P_{вих} = 1,09P_{вх} + \Delta P_1. \quad (85)$$

$$\text{На третьому відрізка } P_{вих} = 0,585P_{вх} + \Delta P_3. \quad (86)$$

Для настроювання контрольних точок приладу користуються тарувальною таблицею (див. таблицю 8). Частотна границя приладу $1,5 \text{ рад/с}$.

Таблиця 1. Контрольні точки приладу ПФ 1.17

$P_{вх}$, МПа	$P_{вих}$, МПа
0,03	$0,0483 \pm \Delta$
0,04	$0,06 \pm \Delta$
0,05	$0,069 \pm \Delta$
0,06	$0,0766 \pm \Delta$
0,07	$0,0832 \pm \Delta$
0,08	$0,0893 \pm \Delta$
0,09	$0,0948 \pm \Delta$
0,1	$0,1 \pm \Delta$

Якщо поєднати послідовно турбулентний (див.

рис. 48) та ламінарний (див. рис. 46) опори [8] і

зазначивши, що витрата через турбулентний опір

визначається, як $q_T = \alpha_T \sqrt{(P_0 - P_1)}$,

а витрата через ламінарний опір як $q_L = \alpha_L (P_1 - P_2)$

(див. рис. 78) і зробивши $P_2 = 0$, можна побудувати

функціональний перетворювач, який дозволяє знайти

залежність між P_1 і P_0 : $q_T = q_L$, тоді $\alpha_T \sqrt{(P_0 - P_1)} = \alpha_L (P_1 - P_2)$,

звідки $P_1 = \alpha_T / \alpha_L \sqrt{(P_0 - P_1)}$

Тобто, можна знайти $P_1 = f(\sqrt{P_0})$, але ця залежність досить незручна і такі

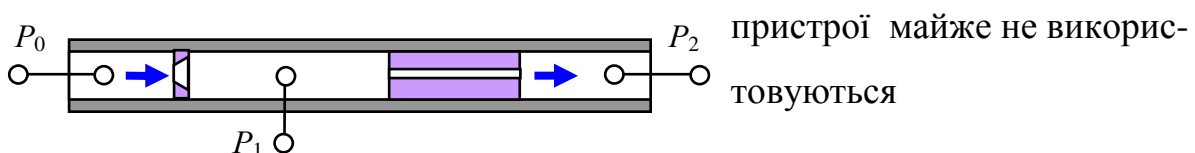


Рис. 78. Функціональний перетворювач добутку кореня на дросельних дільниках

7. ОПЕРАЦІЇ ІНТЕГРУВАННЯ ТА ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ

7.1. Робота аперіодичної ланки 1-го порядку

Аперіодична ланка 1-го порядку складається з дроселя та ємності. Для того, щоб вихідний сигнал, який формується в ємності, міг передаватися на відстань без спотворення, до ємності підключається одномембранний повторювач (рис. 79).

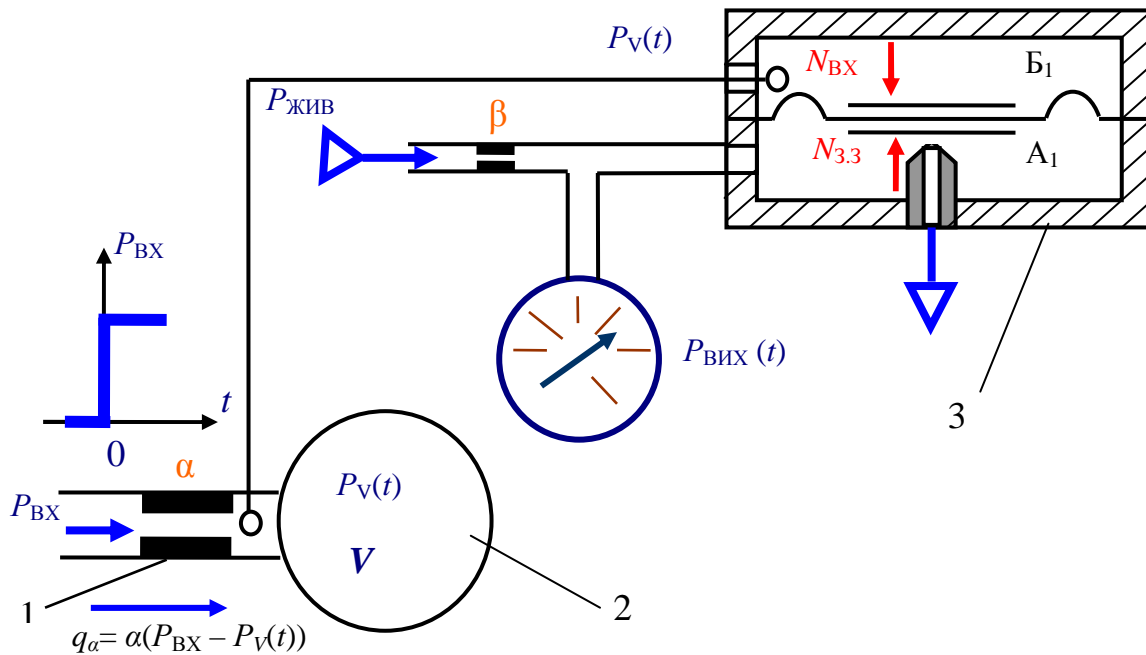


Рис. 79. Схема аперіодичної ланки 1-го порядку:

1 – дросель α ; 2 – ємність V ; 3 – одномембранний повторювач

Дана ланка працює наступним чином. Якщо на вхід дроселя α в момент часу $t = 0$ подати вхідний сигнал P_{BX} , то він в ємності V з'явиться не зразу, а з протіканням деякого перехідного процесу. Для визначення закону зміни цього перехідного процесу, тобто для визначення закону зміни тиску $P_V(t)$ в ємності V в часі, запишемо наступні залежності.

Витрата повітря чи газу через дросель α визначається наступною залежністю:

$$q_{\alpha} = \alpha(P_{\text{BX}} - P_V(t)), \quad (87)$$

де q_{α} – витрата повітря або газу через дросель α ; P_{BX} – тиск перед дроселем; $P_V(t)$ – тиск в ємності V в даний момент часу t ; α – провідність дроселя (кількість повітря або газу, яку здатен пропустити через себе дросель при одиничному перепаді тиску на його кінцях).

З другого боку, стан газу в ємності визначається об'єднаним газовим законом:

$$P_V(t) V = \frac{M}{\mu} R \theta, \quad (88)$$

де M – маса молей газу; μ – маса одного моля газу; R – універсальна газова стала, яка дорівнює $8,314 \text{ Дж} \cdot \text{град}^{-1} \cdot \text{г.моль}$; θ – абсолютна температура; $\frac{M}{\mu} = G(t)$ – кількість газу в об'ємі V в даний момент часу t .

Продиференціюємо по часу ліву та праву частини останнього виразу:

$$V \frac{dP_V(t)}{dt} = \frac{dG(t)}{dt} R \theta. \quad (89)$$

Вираз $\frac{dG(t)}{dt}$ показує, як змінюється кількість повітря або газу в ємності V за одиницю часу, тобто скільки втікає повітря або газу в ємність V за одиницю часу. Виходячи з цього, можна записати:

$$q_{\alpha} = \frac{dG(t)}{dt} = \alpha(P_{\text{BX}} - P_V(t)). \quad (90)$$

Підставляючи останній вираз в формулу (89), отримаємо;

$$V \frac{dP_V(t)}{dt} = \alpha R \theta (P_{\text{BX}} - P_V(t)). \quad (91)$$

Останній вираз можна перетворити до наступного виду:

$$\frac{V}{\alpha R \theta} \frac{dP_v(t)}{dt} + P_v(t) = P_{BX} \quad (92)$$

Якщо позначити $\frac{V}{\alpha R \theta} = T$, то отримаємо наступний вираз:

$$T \frac{dP_v(t)}{dt} + P_v(t) = P_{BX} \quad (93)$$

Останній вираз представляє собою диференціальне рівняння першого порядку, яке описує перехідний процес в аперіодичній ланці першого порядку. Рішення цього рівняння має вид:

$$P_v(t) = C_0 + C_1 e^{p_1 t}, \quad (94)$$

де p_1 – корінь характеристичного рівняння, для знаходження якого використовують перетворення Лапласа; C_0 і C_1 – сталі інтегрування, які знаходять із початкових умов.

Нагадаємо, що пряме перетворення Лапласа² має наступний вид:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt, \quad (95)$$

де t – дійсна змінна; σ – деяке додатне число; $f(t)$ – оригінал функції; $F(p)$ – зображення функції; p – комплексна змінна (оператор Лапласа), дійсна частина якої більше величини σ , яка входить в умову:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-\sigma t} dt < \infty. \quad (96)$$

Дійсна частина змінної p на комплексній площині $Re(p) > \sigma$.

Зворотне перетворення Лапласа:

²Основы автоматического регулирования и управления. Под ред. Пономарёва В. М. и Литвинова А. П. Учебное пособие для неэлектротехн. специальностей вузов, с.167...168. М.: «Высшая школа», 1974 – 439 с.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\omega}^{c+j\omega} F(p) e^{tp} dp; \dots t \geq 0, \quad (97)$$

де $c > \sigma$; $p = c + j\omega$; c та ω – дійсні змінні.

Перетворюючи по Лапласу диференціальне рівняння аперіодичної ланки першого порядку, отримаємо:

$$Tp P_V(p) + P_V(p) = P_{BX}(p), \quad (98)$$

або

$$(Tp + 1)P_V(p) = P_{BX}(p). \quad (99)$$

Порівнявши з нулем ліву частину цього рівняння та врахувавши, що $P_V(p)$ нулю дорівнювати не може, отримаємо:

$$(Tp + 1) = 0, \quad (100)$$

Звідки

$$p_1 = -\frac{1}{T}. \quad (101)$$

Після цього рішення диференціального рівняння буде мати вигляд:

$$P_V(t) = C_0 + C_1 e^{-\frac{1}{T}t}. \quad (102)$$

Сталі інтегрування C_0 та C_1 знаходимо із початкових умов.

Такими початковими умовами є момент нанесення вхідного збурюючого впливу P_{BX} , коли час перехідного процесу дорівнює нулю, тобто, $t = 0$ та час, коли перехідний процес повністю закінчився, тобто, коли $t = \infty$. В першому випадку, в початковий момент, коли $t = 0$, тиск в ємності V дорівнює нулю, тобто, $P_V(0) = 0$. В другому випадку, коли перехідний процес пройшов і $t = \infty$, тиск в ємності V дорівнює тиску на вході P_{BX} , тобто $P_V(\infty) = P_{BX}$. Символічно це можна записати так:

$$1\text{-е п.у.: } t = 0 \Rightarrow P_V(0) = 0 \Rightarrow 0 = C_0 + C_1 e^{-\frac{1}{T}0} \Rightarrow 0 = C_0 + C_1. \quad (103)$$

$$2\text{-е п.у.: } t = \infty \Rightarrow P_V(\infty) = P_{BX} \Rightarrow P_{BX} = C_0 + C_1 e^{-\frac{1}{T}\infty} \Rightarrow P_{BX} = C_0. \quad (104)$$

Якщо з другої умови значення $C_0 = P_{\text{ВХ}}$ підставити в першу умову, то можна знайти, що $C_1 = -P_{\text{ВХ}}$. Підставляючи знайдені значення C_0 та C_1 в рівняння для $P_V(t)$, можна остаточно отримати:

$$P_V(t) = P_{\text{ВХ}} (1 - e^{-\frac{1}{T}t}). \quad (105)$$

Отримане рівняння представляє собою рішення диференціального рівняння, яке описує перехідний процес в аперіодичній ланці першого порядку. Графічно таке рішення виглядає наступним чином (рис. 80).

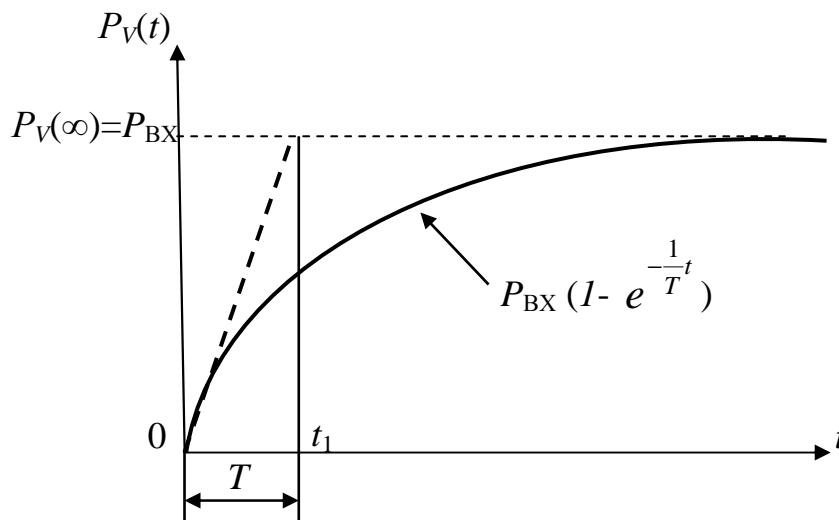


Рис. 80. Перехідний процес в аперіодичній ланці першого порядку

Важливим є час t_1 , за який дотична, проведена до точки початку перехідного процесу (це точка, коли $t = 0$) досягне нового усталеного значення $P_{\text{ВХ}}$. Для знаходження цього часу необхідно записати рівняння дотичної до цієї функції :

$$y = kt, \quad (106)$$

де $k = \frac{dy}{dt}$ — тангенс кута нахилу дотичної до функції в точці. Для початкового моменту, коли $t = 0$ він дорівнює:

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = \left. \frac{dP_v(t)}{dt} \right|_{t=0} = \left. \frac{d(P_{BX}(1 - e^{-\frac{1}{T}t}))}{dt} \right|_{t=0} - \frac{P_{BX}}{T}, \quad (107)$$

тоді рівняння дотичної буде мати вигляд:

$$y(t) = \frac{P_{BX}}{T} t. \quad (108)$$

В момент t_1 це рівняння виглядає так:

$$P_{BX} = \frac{P_{BX}}{T} t_1, \quad (109)$$

звідки $t_1 = T$. Величину T називають сталою часу об'єкту.

Таким чином, стала часу об'єкта T – це час, за який об'єкт досягає нового усталеного значення, якщо швидкість його руху стала і дорівнює початковій.

7. 2. Виведення рівняння та робота інтегральної ланки

Для виводу рівняння інтегральної ланки скористаємось схемою повторення, створеною на п'ятимембранному елементі порівняння і схемою віднімання (рис. 40), а також отриманим рівнянням аперіодичної ланки першого порядку. Треба відмітити, що аперіодичну ланку першого порядку іноді ще називають експоненціальною ланкою першого порядку або інерційною ланкою першого порядку.

Спочатку доповнимо схему повторення, створену на п'ятимембранному елементі порівняння аперіодичною ланкою першого порядку, включеною в ланцюг додатного зворотного зв'язку (рис. 81).

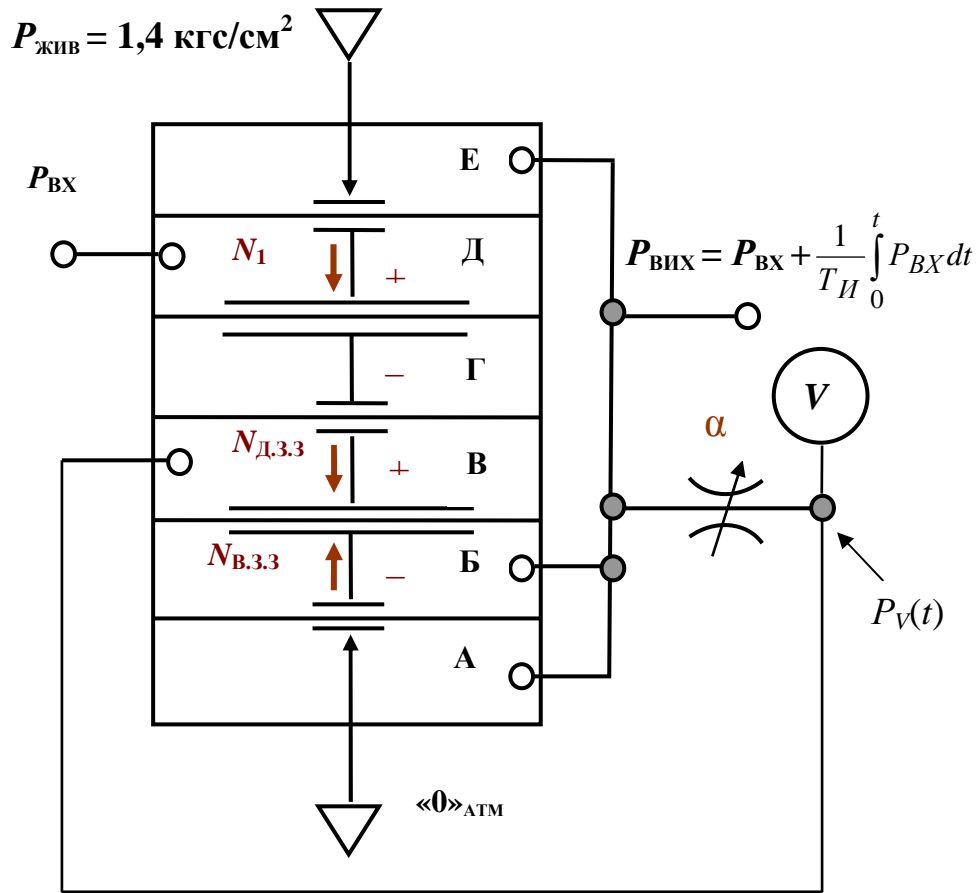


Рис. 81. Схема інтегральної ланки на один вхід

Для знаходження залежності, яка показує, як у часі змінюється вихідний сигнал $P_{\text{ВИХ}}(t)$ в залежності від вхідного сигналу $P_{\text{ВХ}}$ спочатку запишемо рівняння рівноваги сил, виражене через тиски:

$$P_{\text{ВХ}} + P_V(t) = P_{\text{ВИХ}}(t). \quad (110)$$

Далі запишемо диференціальне рівняння аперіодичної ланки стосовно до камери додатного зворотного зв'язку В:

$$T \frac{dP_v(t)}{dt} + P_V(t) = P_{\text{ВИХ}}(t). \quad (111)$$

З першого рівняння знаходимо $P_V(t)$:

$$P_V(t) = P_{\text{ВЫХ}}(t) - P_{\text{ВХ}}. \quad (112)$$

Підставляючи отримане значення в диференціальне рівняння, отримаємо:

$$T \frac{dP_V(t)}{dt} + P_{\text{ВЫХ}}(t) - P_{\text{ВХ}} = P_{\text{ВЫХ}}(t). \quad (113)$$

Цей вираз перетворюємо до виду:

$$T \frac{dP_V(t)}{dt} = P_{\text{ВХ}}. \quad (114)$$

Інтегруючи отриманий вираз від 0 до t , маємо:

$$\int_0^t T \frac{dP_V(t)}{dt} dt = \int_0^t P_{\text{ВХ}} dt, \quad (115)$$

або

$$P_V(t) = \frac{1}{T} \int_0^t P_{\text{ВХ}} dt. \quad (116)$$

Отриманий вираз представляє із себе залежність, за якою змінюється тиск в ємності V інтегральної ланки. Якщо $P_{\text{ВХ}} = \text{const}$, то останній вираз представляє із себе рівняння прямої

$$P_V(t) = \frac{P_{\text{ВХ}}}{T} t \Big|_0^t, \quad (117)$$

графік якої показано на рис. 82.

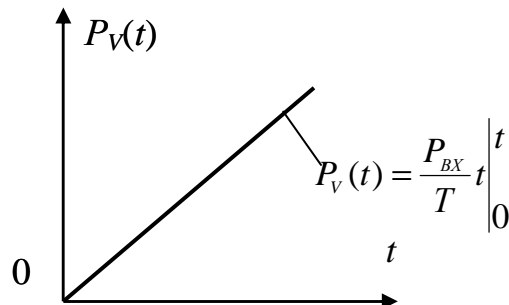


Рис. 82. Закон зміни тиску в ємності V інтегруючої ланки, якщо $P_{\text{ВХ}} = \text{const}$

Якщо подивитись, як змінюється тиск $P_{\text{вих}}(t)$ на виході інтегрувальної ланки, то він буде змінюватися за наступною залежністю:

$$P_{\text{вих}}(t) = \frac{1}{T} \int_0^t P_{\text{вх}} dt + P_{\text{вх}}. \quad (118)$$

Але, якщо $P_{\text{вх}} = \text{const}$, то $P_{\text{вих}}(t)$ також буде змінюватись по прямій, але з деяким зміщенням на $P_{\text{вх}}$ (дивись рис. 83):

$$P_{\text{вих}}(t) = \frac{P_{\text{вх}}}{T} t \Big|_0^t + P_{\text{вх}} \quad (119)$$

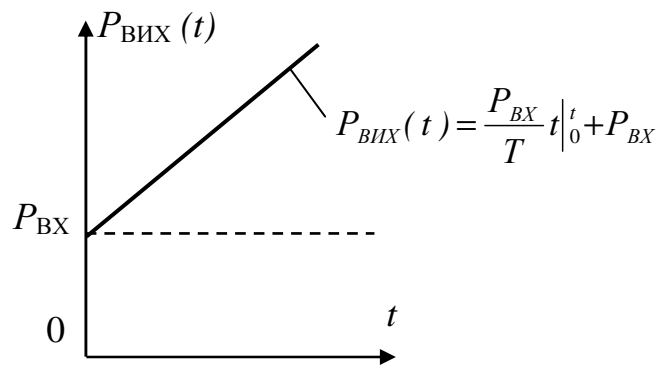


Рис. 83. Закон зміни тиску на виході інтегрувальної ланки, якщо $P_{\text{вх}} = \text{const}$

У випадку використання інтегрувальної ланки в інтегральних регуляторах на вхід замість сигналу $P_{\text{вх}}$ поступає різниця двох сигналів $P_{\text{зм}}(t) - P_{\text{зд}}(t)$ де $P_{\text{зм}}(t)$ являється конкретним значенням параметру регулювання в даний момент часу, а $P_{\text{зд}}(t)$ – заданим або бажаним значенням цього параметра. Тоді вирази для $P_{\text{в}}(t)$ і для $P_{\text{вих}}(t)$ будуть мати наступний вигляд:

$$P_{\text{в}}(t) = \frac{1}{T} \int_0^t (P_{\text{зм}}(t) - P_{\text{зд}}(t)) dt, \quad (120)$$

$$P_{\text{вих}}(t) = \frac{1}{T} \int_0^t (P_{\text{зм}}(t) - P_{\text{зд}}(t)) dt + (P_{\text{зм}}(t) - P_{\text{зд}}(t)). \quad (121)$$

Схема такої ланки показана на рис. 84.


$$P_V(t) = \frac{P_{3M}(t) - P_{3D}(t)}{T} t \Big|_0^t, \quad (122)$$

112

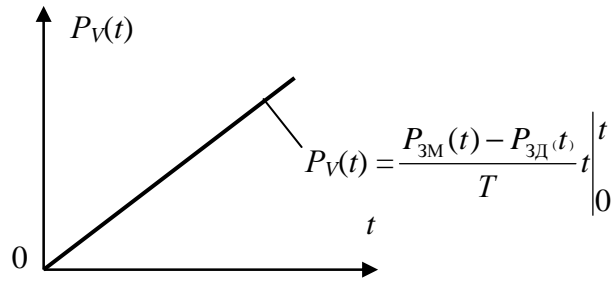


Рис. 85. Закон зміни тиску в ємності V інтегруючої ланки, якщо $P_{3M}(t) - P_{3D}(t) = \text{const}$

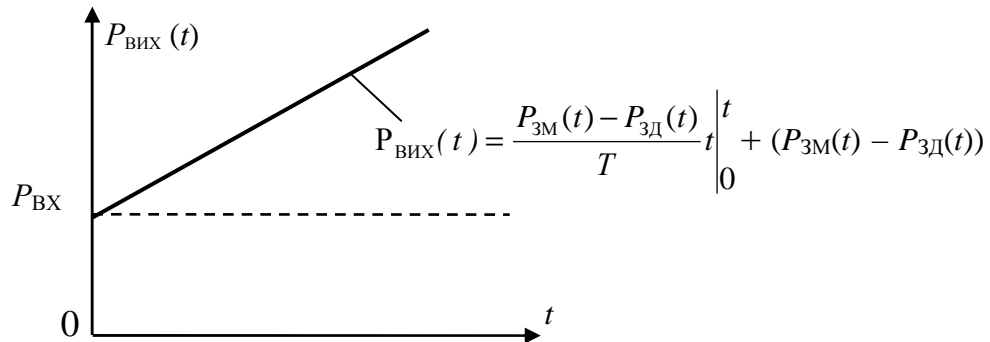


Рис. 86. Закон зміни тиску на вході інтегруючої ланки, якщо $P_{3M}(t) - P_{3D}(t) = \text{const}$

7.3. Рівняння та робота диференційної ланки

Якщо в схемах повторення або віднімання (рис. 40) в зворотний зв'язок (камеру Б) включити аперіодичну ланку першого порядку, то отримаємо диференційну ланку (рис. 87). Рівняння такої ланки можна отримати наступним чином.

Спочатку, як і раніше, запишемо умову рівноваги мембранного блока через тиски:

$$P_{ВІХ} = P_{Б}, \text{ або } P_{ВІХ} = P_V(t). \quad (124)$$

Далі запишемо диференціальне рівняння аперіодичної ланки для камери Б стосовно до операції диференціювання:

$$T \frac{dP_v(t)}{dt} + P_V(t) = P_{ВІХ}(t). \quad (125)$$

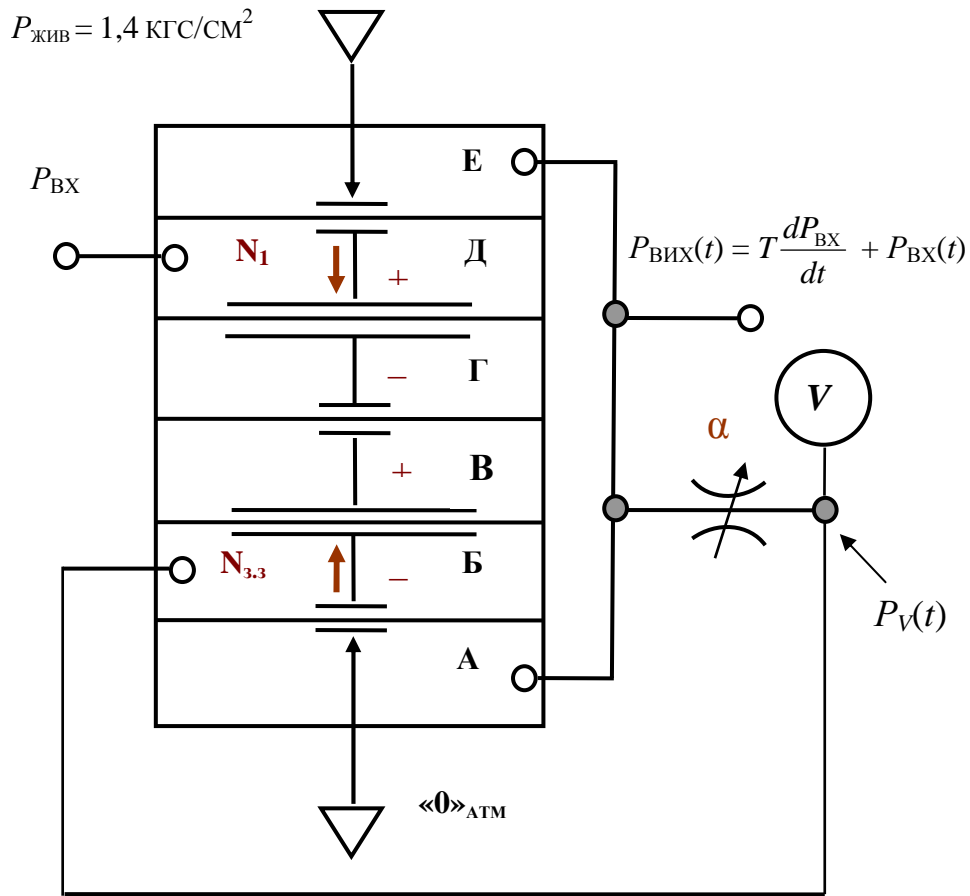


Рис. 87. Схема диференційної ланки на один вхід

Продиференціюємо умову рівноваги мембранного блоку по часу:

$$\frac{dP_{\text{BX}}}{dt} = \frac{dP_{\text{V}}(t)}{dt}. \quad (126)$$

Підставляючи отриманий вираз в диференціальне рівняння аперіодичної ланки для камери Б, отримаємо:

$$T \frac{dP_{\text{BX}}}{dt} + P_{\text{BX}}(t) = P_{\text{ВИХ}}(t). \quad (127)$$

Тобто, вихідний сигнал буде залежати як від вхідного сигналу, так і від його похідної.

Якщо скористатися раніш розглянутою методикою отримання рішення диференціальних рівнянь, то можна знайти, що вихідний сигнал диференціальної ланки змінюється по наступній залежності:

$$P_{\text{вих}}(t) = \frac{P_{\text{вх}}(t)}{(1 - e^{-\frac{1}{T}t})} \quad (128)$$

де T – стала часу інерційної (аперіодичної) ланки, яка входить в структуру диференційної ланки. Графік такої залежності показано на рис. 88.

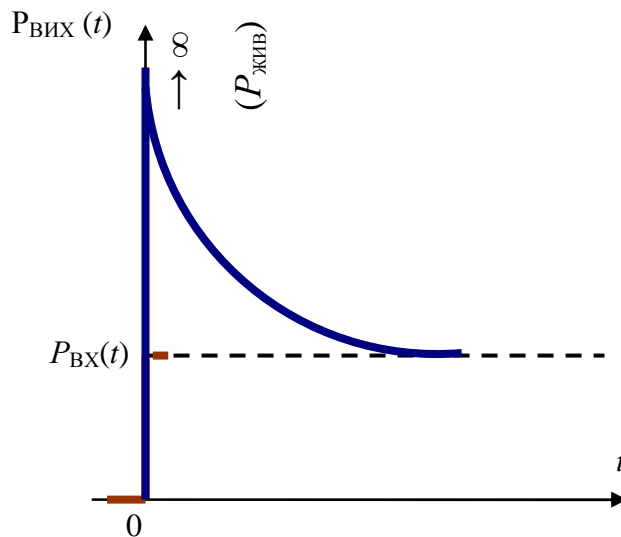


Рис. 88. Зміна сигналу на виході диференційної ланки

Як видно из рис. 87, для реалізації роботи цієї диференційної ланки необхідно задіяти дві камери – додатну камеру Д і від’ємну камеру Б. Тому таку ланку можна створити також на тримембранному елементі порівняння П2.ЕС1 з присутністю дроселя в соплі живлення (рис. 89). Для

цієї схеми вихідний сигнал також буде визначатись диференціальним рівнянням

$$T \frac{dP_{\text{ВХ}}}{dt} + P_{\text{ВХ}}(t) = P_{\text{ВИХ}}(t). \quad (129)$$

А вид вихідного сигналу и його характер після зміни сигналу $P_{\text{ВХ}}(t)$ при початковому значенні $P_{\text{ВХ.0}} = 0$ буде також визначатись залежністю

$$P_{\text{ВИХ}}(t) = \frac{P_{\text{ВХ}}(t)}{(1 - e^{-\frac{t}{T}})} \quad (130)$$

та рис. 89.

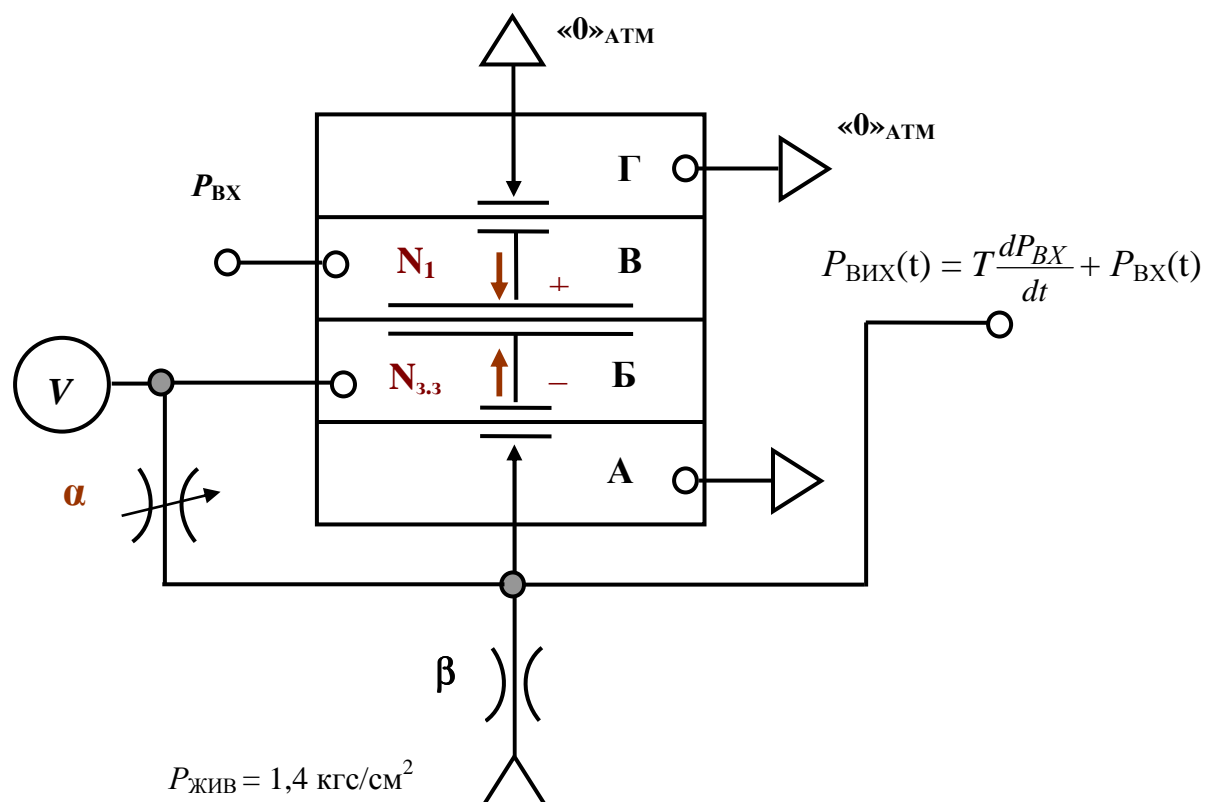


Рис. 89. Схема диференціальної ланки на один вхід з включенням дроселя в соплу живлення

Всі вище розглянуті ланки використовуються при побудові пневматичних регуляторів.

8. ПНЕВМАТИЧНІ РЕГУЛЯТОРИ СИСТЕМИ «СТАРТ»

8.1. Робота пропорціонального регулятора ПР 2.5

Існують аналогові і релейні регулятори. Аналоговим називається регулятор, у якого вихідний сигнал змінюється неперервним чином при неперервній зміні вхідного сигналу. Як правило, аналогові регулятори входять в склад лінійних систем керування, які описуються лінійними диференціальними рівняннями і в яких виконується принцип суперпозиції (накладання) полів. Релейним називається регулятор, у якого вихідний сигнал приймає два або декілька конкретних (фіксованих) значення при неперервній зміні вхідного сигналу. При цьому регулюючий орган такої системи переміщується з одного крайнього положення в інше крайнє або фіксоване положення. Системи регулювання, в склад яких входять релейні регулятори, відносяться до нелінійних систем регулювання. В цих системах є присутнім хоч би один нелінійний (релейний) елемент і принцип суперпозиції не виконується.

Самий простий аналоговий пневматичний регулятор системи «СТАРТ» – це пропорціональний регулятор (або, скорочено, П-регулятор) ПР 2.5. Схема цього регулятора представлена на рис. 90.

Він складається з пропорціональної ланки, яка, в свою чергу, складається з елементів порівняння 1 і 3 типу П2ЕС.3 та дроселів α і β , і робота якої розглянута раніш (див. рис. 66), підключеного до її виходу грубого потужного повторювача 4 типу П2П.3 (підсилювача потужності) та реле відмикання 5 типу П-1108. Значення сигналу початкового стану (початкових умов) виконавчого механізму $P_{ц.у}$ задається за допомогою кулькового задавача 2 типу П-1099, під кулькою якого включено дросель ϵ типу П2Д.4-2 (П2Д.4-1) і вихідний сигнал якого контролюється за допомогою манометра 6, який не входить в комплект регулятора. Зворотний зв'язок

пропорційної ланки береться не зразу після другого елемента порівняння 3, а, для підвищення точності, після підсилювача потужності 4.

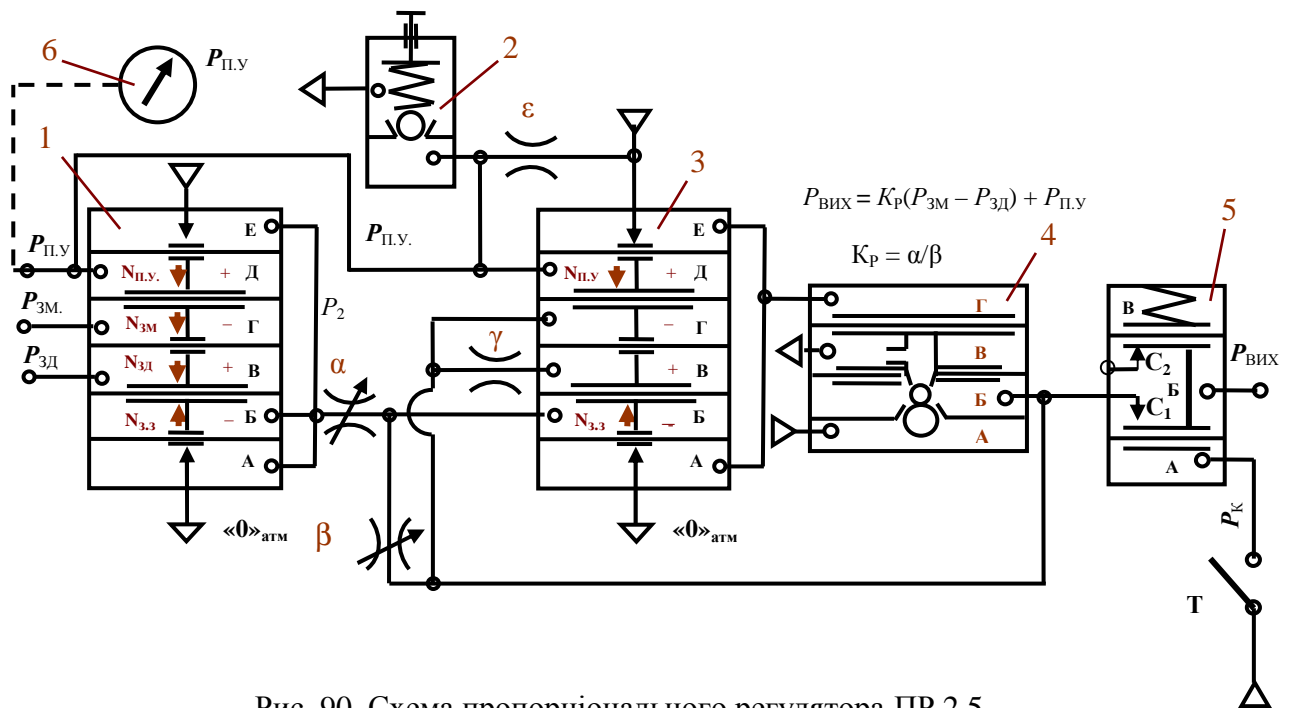


Рис. 90. Схема пропорційного регулятора ПР 2.5.

Крім того, для демпфування можливих автоколивань сигнал зворотного зв'язку заводиться в додатну (В) та від'ємну (Г) камери елемента порівняння 3. При цьому, в камеру додатного зворотного зв'язку В цей сигнал заводиться через дросель γ . Таким чином, в статичному режимі тиски в камерах В і Г друг друга компенсують, а в динаміці, завдяки дроселю γ , відбувається демпфування автоколивань (автоколивання заторможуються). Коефіцієнт передачі регулятора $K_P = \alpha/\beta$ регулюється зміною провідності дроселів α та β , однак шкали цих дроселів проградуйовані у % межі пропорційності δ (або діапазону дроселювання, коефіцієнта нерівномірності). Межа пропорційності δ – це величина, зворотна до коефіцієнту передачі регулятора K_P і яка показує, якому відсотку від от максимального вхідного сигналу регулятора відповідає максимальне значення вихідного сигналу регулятора. В числовому виді вона визначається так:

$$\delta = \frac{1}{K_p} \times 100\% . \quad (131)$$

Реле відключення (реле від'єднання) 5 служить для можливості керування любым об'єктом в ручному режимі та ручному настроюванні початкового положення виконавчого механізму за допомогою сигналу $P_{п.у}$. Працює воно наступним чином. Якщо тумблер Т (в комплект регулятора не входить) виключено, то в цьому випадку командний тиск P_K , який поступає в камеру А реле відключення, буде дорівнювати 0. Мембранний блок реле буде знаходитись в нижньому положенні, сопло C_2 під дією пружини, яка знаходиться в камері В, буде закрито, а сопло C_1 буде відкрито і сигнал з виходу підсилювача 4 буде поступати на вихід регулятора через камеру Б реле відключення. Буде здійснюватися режим автоматичного керування будь яким об'єктом. Якщо ж включити тумблер Т, то тиск P_K прийме якесь конкретне значення (наприклад, $1,4 \text{ кгс/см}^2$ або іншу умовну «1») і мембранний блок реле підніметься, сопло C_1 закриється, а заглушене сопло C_2 відкриється. Вихід регулятора буде відключено і вести процес керування можна буде від іншого пристрою. Вихідний сигнал регулятора визначається залежністю

$$P_{\text{вих}} = K_p(P_{\text{зм}} - P_{\text{зд}}) + P_{\text{п.у}}, \quad (132)$$

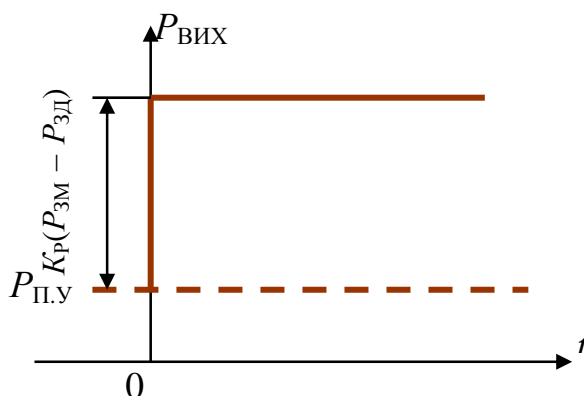


Рис. 91. Характеристика зміни вихідного сигналу пропорційного регулятора ПР2.5

де $P_{\text{зм}}$ – сигнал змінної, значення якого необхідно регулювати, $P_{\text{зд}}$ – задане значення. Вихідний сигнал буде змінюватися зразу, як тільки з'явиться сигнал похибки $\Delta(t) = (P_{\text{зм}} - P_{\text{зд}})$. Характеристика зміни вихідного сигналу регулятора показана на рис. 91.

Як відомо, системи регулювання, замкнуті пропорційальним регулятором (тобто, які працюють за замкнутим циклом і які реалізують принцип регулювання за похибкою або, як він інакше називається, принцип Ползунова-Уатта) мають так звану статичну похибку регулювання, яка полягає в тому, що при зміні вхідного сигналу з'являється деяка відмінність вихідного сигналу в порівнянні з заданим значенням. Структурна схема та залежність зміни вихідного сигналу в залежності від вхідного для такої системи показані на рис. 92.

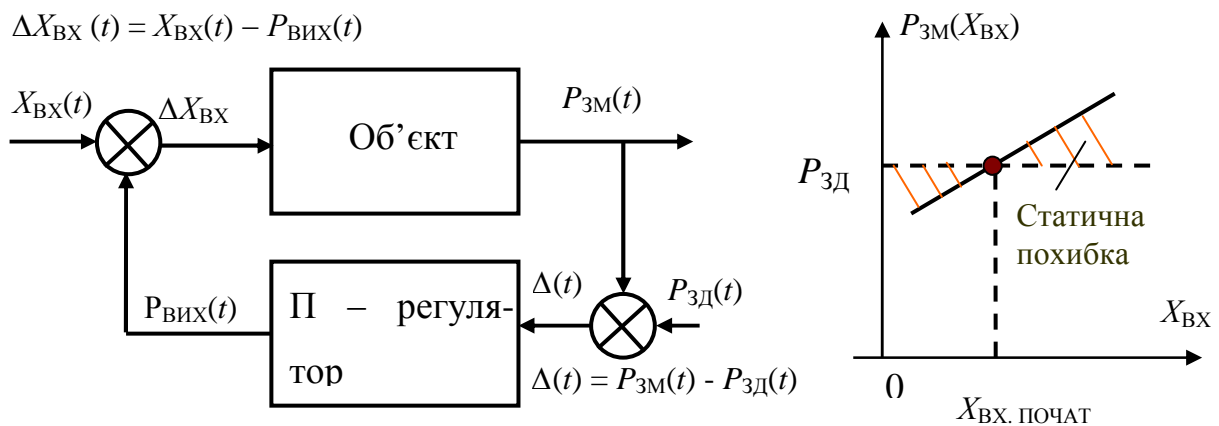


Рис. 92. Структурна схема системи та статична похибка регулювання в системах, замкнутах пропорційальним регулятором

Наявність статичної похибки пояснюється тим, що при зміні вхідного сигналу $X_{BX}(t)$ необхідно змінити положення регулюючого органа для того, щоб вихідний сигнал не змінював свого значення. А це, згідно до рівняння пропорційального регулятора, можливо тільки тоді, коли з'явиться хоч би якась похибка регулювання. І тільки в одній точці, в тій точці, в якій здійснювалось настроювання початкового положення виконавчого механізму, тобто, коли $X_{BX} = X_{BX. ПОЧАТ}$, сигнал похибки $\Delta(t) = P_{ЗМ}(t) - P_{ЗД}(t)$ буде дорівнювати нулю.

8.2. Схема пропорційно-інтегрального регулятора ПР 3.21

Для усунення статичної похибки регулювання в пропорційальний

закон регулювання замість сигналу початкових умов $P_{п.у}$ вводиться сигнал, який залежить від інтегралу похибки регулювання:

$$P_I = \frac{1}{T_I} \int_0^t (P_{зм}(t) - P_{зд}(t)) dt. \quad (133)$$

Цей сигнал можна ввести, якщо замість задавача 2 (рис. 90) підключити інтегральну ланку, показану на рис. 84. Схема такого регулятора представлена на рис. 93.

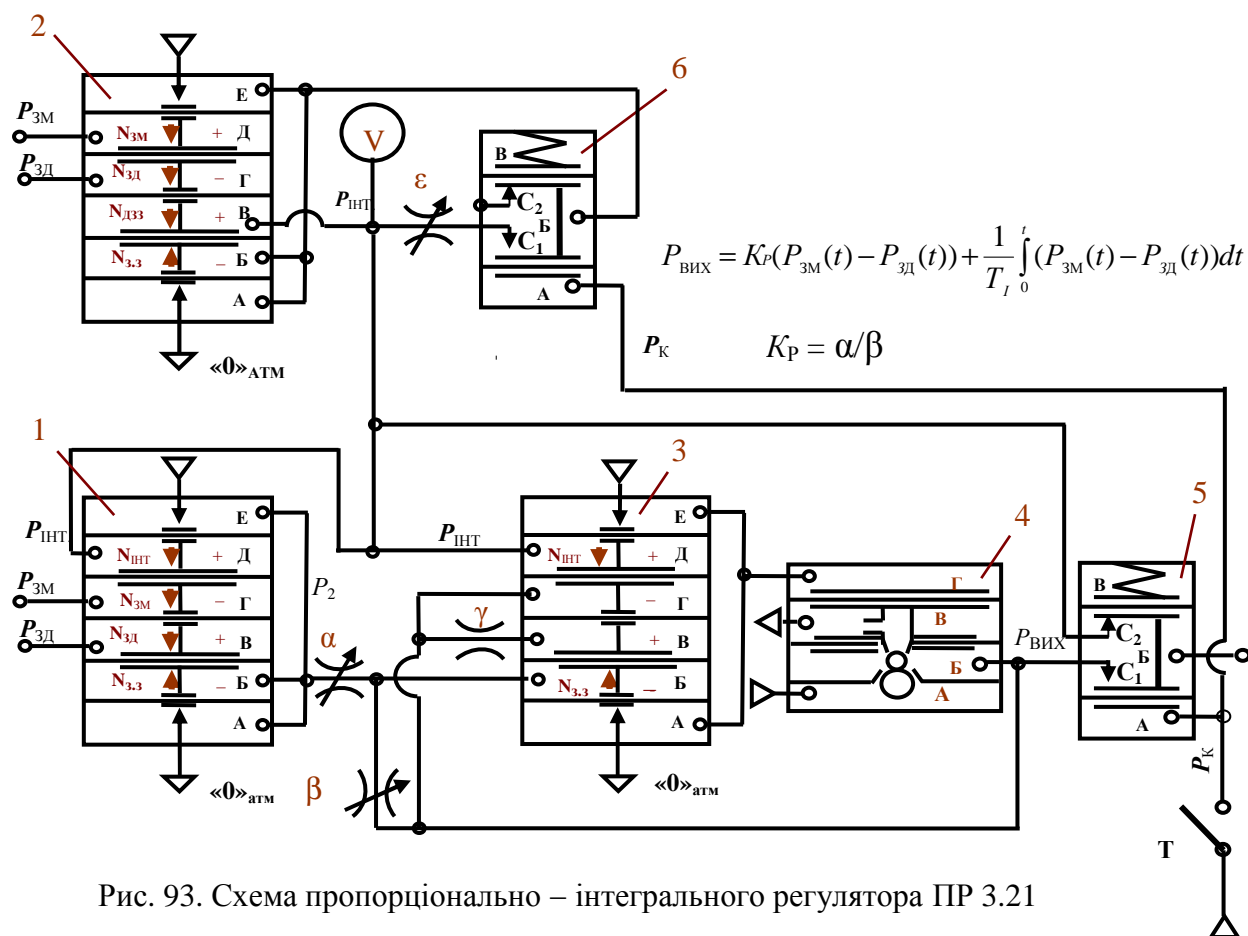


Рис. 93. Схема пропорційно – інтегрального регулятора ПР 3.21

А вихідний сигнал буде визначатися залежністю:

$$P_{\text{ВІХ}} = K_P (P_{\text{ЗМ}}(t) - P_{\text{ЗД}}(t)) + \frac{1}{T_I} \int_0^t (P_{\text{ЗМ}}(t) - P_{\text{ЗД}}(t)) dt. \quad (134)$$

Треба зауважити, якщо інтегрування ведеться не з нульового моменту часу, то $P_{п.у}$ – є наінтегроване раніше значення в інтегральній

ланці, тобто $P_{\text{п.у}} = P_{\text{инт } 0}$ і воно не дорівнює нулю.

Вихідна характеристика такого регулятора показана на рис. 94.

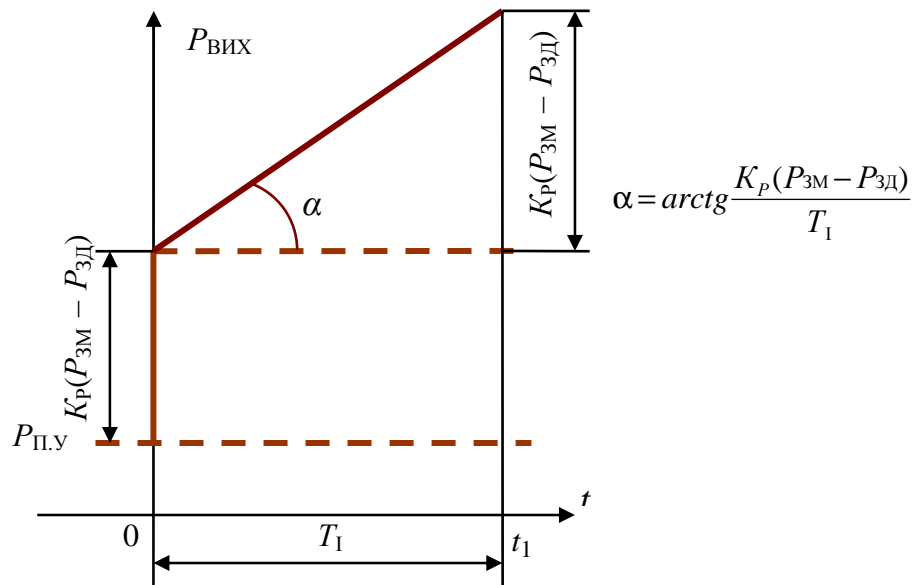


Рис. 94. Характеристика зміни вихідного сигналу пропорційно-інтегрального регулятора

Цікавим є проміжок часу t_1 , за який вихідний сигнал регулятора становиться вдвічі більшим при $P_{\text{п.у}} = 0$, якщо сигнал похибки $\Delta(t) = P_{3\text{м}}(t) - P_{3\text{д}}(t)$ остається сталим, тобто $\Delta(t) = \text{const}$. В цьому випадку, як було показано раніш, сигнал на виході інтегральної ланки буде змінюватися по лінійному закону. Тому, запишемо, як змінюється вихідний сигнал (тобто, рівняння прямої) для цього випадку:

$$P_{\text{вих}}(t) = K_p(P_{3\text{м}}(t) - P_{3\text{д}}(t)) + \frac{(P_{3\text{м}}(t) - P_{3\text{д}}(t))}{T_1}t + P_{\text{п.у}} \quad (135)$$

В той момент часу, коли вихідний сигнал збільшиться на подвоєне значення пропорційної складової, це рівняння буде мати наступний вигляд:

$$2K_p(P_{3\text{м}}(t) - P_{3\text{д}}(t)) + P_{\text{п.у}} = K_p(P_{3\text{м}}(t) - P_{3\text{д}}(t)) + \frac{(P_{3\text{м}}(t) - P_{3\text{д}}(t))}{T_1}t_1 + P_{\text{п.у}}$$

Його можна спростити до наступного виду:

$$K_p = \frac{1}{T_I} t_1 \quad (136)$$

звідки:

$$K_p T_I = t_1. \quad (137)$$

Якщо позначити $K_p T_I = T_I^*$, то $t_1 = T_I^*$ – стала часу інтегрування: час подвоєння вихідного сигналу регулятора при нульових початкових умовах (тобто, коли $P_{п.у} = 0$). Зауважимо зразу, що $P_{п.у}$ задається вручну при керуванні якимось виконавчим механізмом та накопичується в ємності інтегральної ланки, при цьому командний сигнал $P_K = \ll 1 \gg$, і далі, вже в режимі автоматичного регулювання, він весь час підстроюється інтегральною ланкою так, щоб статична похибка зводилась до нуля.

У випадку використання пропорційно-інтегрального регулятора (скорочено ПІ – регулятора) ПР3.21 в режимі автоматичного регулювання сигнал з підсилювача потужності 4 поступає на вихід регулятора через відкрите сопло C_1 реле відключення 5. При цьому командний сигнал $P_K = 0$ і мембранний блок реле відключення під дією пружини, яка знаходиться в камері В, буде знаходитись в нижньому положенні. Через сопло C_1 другого реле відключення 6 вихідний сигнал з елемента порівняння 2 буде поступати через дросель ϵ в ємність інтегральної ланки і далі в камеру додатного зворотного зв'язку В елемента 2. Завдяки цьому вихідний сигнал елемента 2 буде постійно зростати або спадати (в залежності від знака інтегрування). В ємності V інтегральної ланки, як було показано раніше, буде накопичуватися сигнал інтегральної складової $P_{\text{ІНТ}}$. Коефіцієнт передачі регулятора K_p регулюється провідністю дроселя α . Якщо дросель α повністю закрито, то $K_p = 0$ (K_p прямує до 0). При цьому $\delta = 1/K_p \times 100 \% \rightarrow \infty$. Якщо ж α повністю відкритий, то $K_p \rightarrow \infty$, а $\delta \rightarrow 0$.

Значення сталої інтегрування T_I регулюється провідністю дроселя ε . Якщо ε повністю відкрито, то $T_I \rightarrow 0$ і вплив інтегральної складової на вихідний сигнал регулятора буде максимальним. При закритому ε значення $T_I \rightarrow \infty$ ($1/T_I = 0$) і вплив інтегральної складової на вихідний сигнал регулятора буде мінімальним, тобто він перетворюється в пропорційний регулятор.

При подачі сигналу $P_K = \langle 1 \rangle$ мембранні блоки реле відключення 5 та 6 займають верхнє положення, сопла C_1 цих реле закриваються, а сопла C_2 – відкриваються. Вихід підсилювача 4 відключається і лінія керування виконавчим механізмом сполучається з ємністю інтегральної ланки та камерою В додатного зворотного зв'язку елемента 2. В ємності інтегральної ланки починає накопичуватись сигнал, який відповідає початковому стану виконавчого механізму. Далі, коли відбувається переключення в автоматичний режим роботи, тобто коли $P_K = \langle 0 \rangle$, саме з цього сигналу і починає працювати регулятор.

Треба зауважити, що дросель ε сполучається з виходом елемента порівняння 2 тільки тоді, коли відкрито сопло C_1 реле відключення 6, тобто при автоматичному регулюванні. Це застерігає лінію виконавчого механізму від скачка тиску в проміжному положенні перемикача типу регулювання ($P_{ЗМ} - P_{ЗД}$ або $P_{ЗД} - P_{ЗМ}$, перемикач типу регулювання на рисунку не показано), тобто тоді, коли зміна тиску завдання P_3 викликає різку зміну вихідного тиску елемента 2. Гасіння автоколивань здійснюється аналогічно, як в пропорційальному регуляторі, який було розглянуто раніше.

8.3. Схема пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора ПР 3.25

Коли вхідний сигнал $X_{ВХ}(t)$ змінюється швидко, то виникає так звана динамічна складова похибки регулювання. Для усунення цієї складової в

закон регулювання вводиться похідна від похибки регулювання, тобто диференціальна складова $T_d (d\Delta(t)/dt)$, де T_d – стала диференціювання або час передбачення (іноді позначають T_{Π}). Диференціальна складова як би дозволяє передбачити виникнення похибки регулювання і не дає їй виникнути. Введення такої складової в регуляторах системи «СТАРТ» здійснюється шляхом пропускання вхідної складової через диференціальну ланку (див. рис. 87 та 89). Такий регулятор має назву пропорційно-інтегрально-диференціальний (скорочено ПІД – регулятор). Схема такого регулятора системи «СТАРТ» ПР3.25 показана на рис. 95.

Вхідний сигнал $P_{3M}(t)$ проходячи через диференціальну ланку 7, перетворюється в проміжний сигнал $P_{3M.1}(t)$, який складається із самого сигналу $P_{3M}(t)$ та його похідної за часом $dP_{3M}(t)/dt$, тобто сигнал буде мати наступний вид:

$$P_{3M.1}(t) = T_d \frac{dP_{3M}(t)}{dt} + P_{3M}(t). \quad (138)$$

Як це відбувається, було розглянуто раніше (див. роботу диференціальної ланки). Далі цей проміжний сигнал $P_{3M.1}(t)$ поступає на вхід пропорційної ланки, де відбувається його обробка у відповідності до пропорційного закону регулювання. На вхід інтегральної ланки 2 поступає чистий сигнал $P_{3M}(t)$. Таким чином, на виході регулятора вихідний сигнал буде мати наступний вигляд:

$$P_{\text{вих}}(t) = K_p (P_{3M}(t) - P_{3d}(t)) + \frac{1}{T_i} \int_0^t (P_{3M}(t) - P_{3d}(t)) dt + K_p T_d \frac{dP_{3M}(t)}{dt}. \quad (139)$$

Крім того, в цьому регуляторі диференціальна ланка має реле відключення 8, яке дозволяє відключити (зашунтувати) диференціальну складову в режимі ручного настроювання системи регулювання, тобто, коли $P_K = \langle 1 \rangle$. При подачі $P_K = \langle 1 \rangle$ мембранний блок реле відключення 8 піднімається вгору, сполучаючи через сопло C_2 ємність V_1 з виходом диферен-

ціальної ланки 7, перетворюючи її у звичайний повторювач сигналу (вплив дроселя ξ буде відключено, тобто буде створено звичайний від'ємний зворотний зв'язок) .

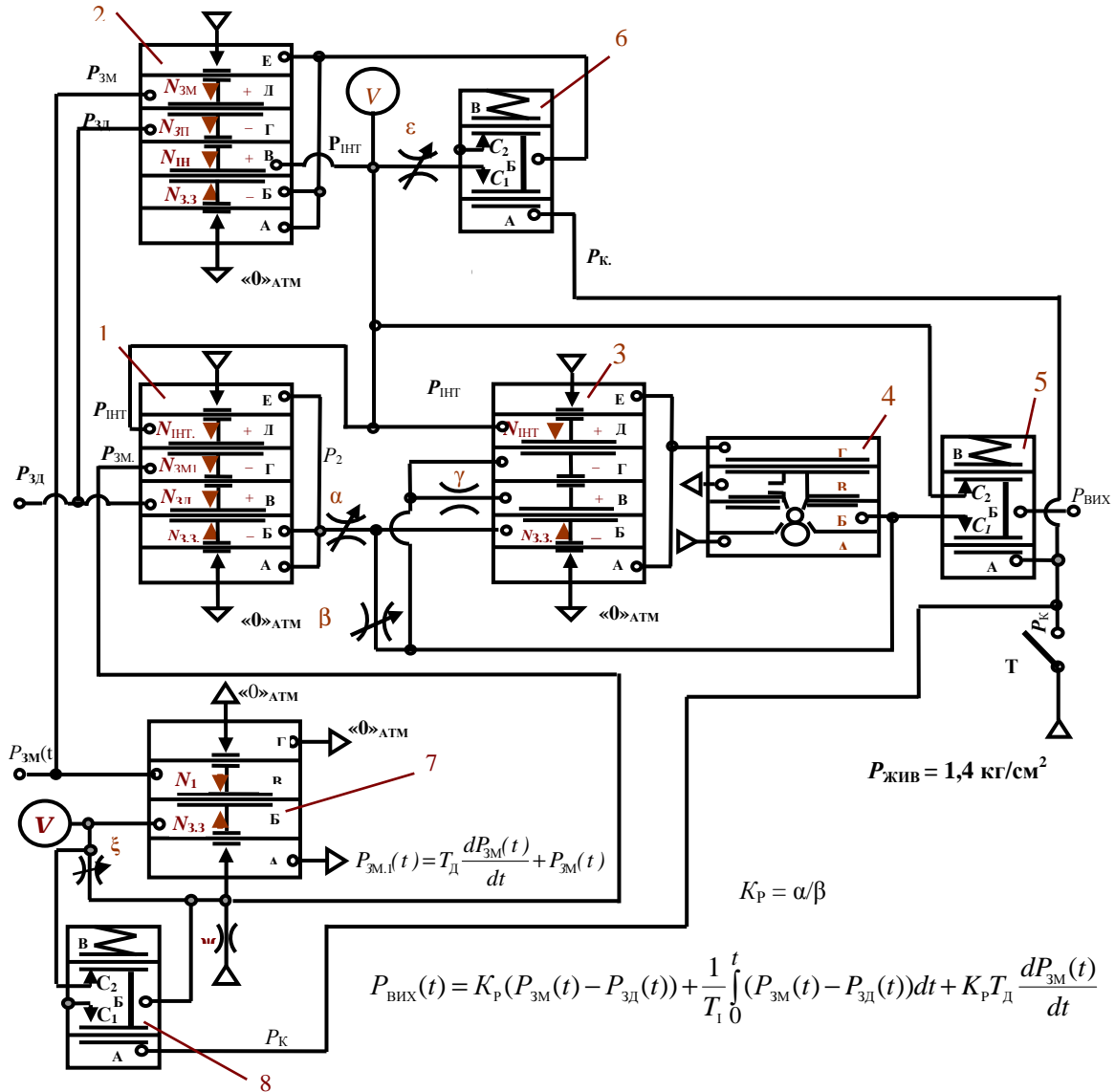


Рис. 95. Схема пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора РР 3.25

Вид вихідного сигналу регулятора показано на рис. 96.

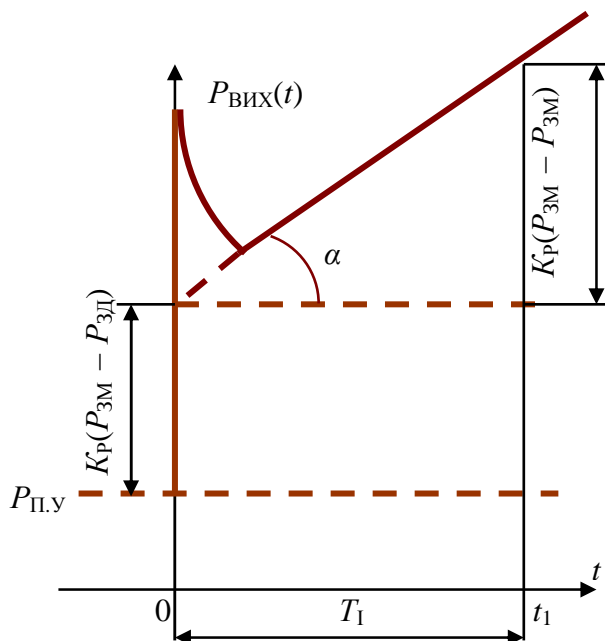


Рис. 96. Вид зміни вихідного сигналу пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора ПР 3.25

8.4. Робота пропорційного регулятора ПР 2.8

В системі «СТАРТ» (Система автоматичних регуляторів, побудованих на елементах УСЕППА, заводу «Тізприлад») є також пропорційний регулятор з лінійними статичними характеристиками – це регулятор ПР2.8. У цього регулятора вхідний та вихідний сигнали також лежать в діапазоні 0,2...1,0 кгс/см². А граничне значення вихідного сигналу при рівності сигналів завдання та змінної лежать в межах: для нижнього – 0,2 кгс/см²;

для верхнього – 1,0 кгс/см². Граничне значення зміни порога чутливості Δ_0 вихідного сигналу: нижнє – 0...0,05 кгс /см² (при рівності $P_{зм} = P_{зд}$); верхнє – від 1,0 кгс/см² до значення тиску живлення.

Живлення регулятора здійснюється сухим, очищеним від пилу та масла повітрям тиском $1,4 \pm 0,14$ кгс/см².

Клас забруднення стисненого повітря не повинен бути гірше 1-го згідно до ГОСТ 17433 – 72.

Джерелом енергії для приведення регулятора в дію служить стиснене повітря тиском до стабілізатора від 3 до 6 кгс/см², яке виробляє компресорна станція. Граничні значення діапазону настройки меж пропорційності δ відповідають: нижнє – 2 %; верхнє – 3000 %.

Межа допустимої основної похибки регулятора $\pm 1,0$ % .

За основну похибку приймають:

для регуляторів з межами пропорційності $\delta < 100$ % – найбільше значення вхідного сигналу $X_{ВХ}$, яке виражається у відсотках від 0,8 кгс/см², при значенні вихідного сигналу порогу чутливості Δ_0 ;

для регуляторів з межами пропорційності $\delta \geq 100$ % – найбільша різниця між значенням Δ_0 та вихідним сигналом, виражена у відсотках від 0,8 кгс/см² при нульовому значенні вхідного сигналу.

Нелінійність статичних характеристик, яка виражається у відсотках від 0,8 кгс/см², не перевищує ± 1 % для межі пропорційності 100 % та ± 3 % для всіх значень межі пропорційності на відмітках шкал від 2 до 3000 % (крім 100 %).

Основну похибку та нелінійність статичних характеристик визначають при наступних умовах: температура зовнішнього повітря 20 ± 2 °С; відносна вологість повітря от 30 до 80 %; відхилення тиску живлення не більше 3 % (0,04 кгс/см²) від номінального значення.

Регулятор забезпечує передачу пневматичних сигналів на відстань по трасі до 300 м при внутрішньому діаметрі трубопроводу лінії передачі 6 мм, може встановлюватися в пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях.

Температура зовнішнього повітря може бути в межах від 5 до 50 °С, вологість – від 30 до 80 %.

Витрата повітря, приведена до нормальних умов, в усталеному режимі до 4 л/ хв. Маса регулятора складає 2,4 кг.

В основі роботи регулятора лежить пропорційна ланка з лінійними статичними характеристиками (див. рис. 59 та 61), робота якої була розглянута раніше. Схема такого регулятора приведена на рис. 97.

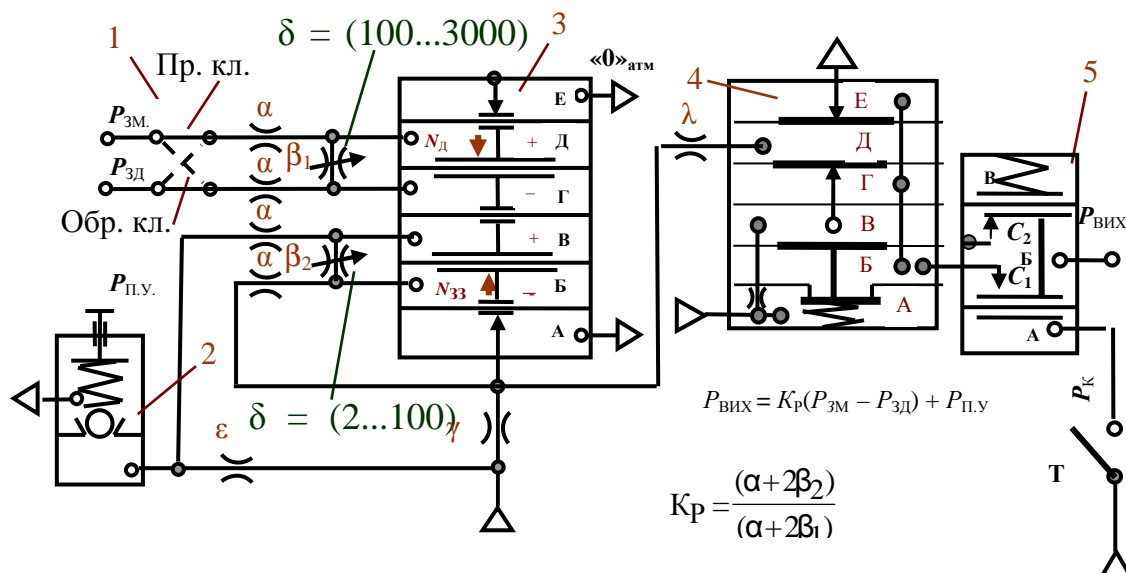


Рис. 97. Схема пропорційного регулятора ПР 2.8

Особливою конструктивною відмінністю регулятора ПР2.8 є присутність двох органів налаштування межі пропорційності в діапазоні від 2 до 3000 %, що значно підвищує плавність настроювання. Для настроювання межі пропорційності від 100 до 3000 % опір β_2 ставлять на відмітку шкали 100 %, що відповідає його закриттю, а опір β_1 – на потрібну відмітку. При настроюванні межі пропорційності від 2 до 100 % необхідно закрити опір (дросель) β_1 , а опір β_2 в цьому випадку є робочим.

Таким чином, можна сказати, що якщо потрібно змінювати коефіцієнт передачі регулятора K_p від 1 до 0 (при цьому $\delta \rightarrow$ от 100 % до 3000 %), то процес настроювання ведуть дроселем β_1 , при цьому дросель β_2 має бути закритим. А якщо необхідно змінювати K_p від 1 до ∞ (при цьому $\delta \rightarrow$ від 100 % до 2 %), то процес регулювання ведуть дроселем β_2 , а дросель β_1 має бути закритим.

Для гасіння автоколивань, які виникають в камері Д точного потужного повторювача 4 (типу П2П.7) служить дросель λ .

В усьому іншому його робота та вид вихідної характеристики аналогічні регулятору ПР2.5. Перемикач 1 служить для підключення нормально відкритих або нормально закритих виконавчих механізмів, або для зміни режиму регулювання з режиму $P_{зм} - P_{зд}$ на режим $P_{зд} - P_{зм}$.

Діаметри дроселів α дорівнюють $\varnothing 0,18 \times 40$, дроселів ϵ та $\gamma - \varnothing 0,33 \times 20$, дроселя $\lambda - \varnothing 0,18 \times 7$.

8.5. Робота регуляторів системи співвідношення

Дуже часто при проведенні багатьох технологічних процесів необхідно підтримувати певне співвідношення між компонентами, які поступають в той чи інший технологічний апарат чи реактор. Наприклад, для отримання топочного газу з максимальною температурою необхідно підтримувати конкретне співвідношення між газом та повітрям, які поступають на згоряння. Ця залежність носить строго екстремальний характер: максимальна температура топочних газів T_{\max} при конкретній витраті палива Q_T буде досягатись при конкретній витраті повітря Q_B , яке подається в топку. Якщо повітря буде подаватись менше необхідного, то паливо буде не догорять, а якщо подавати більше необхідного, то температура буде знижуватись за рахунок надлишку повітря. Для вирішення задачі отримання максимальної температури T_{\max} використовується слідкуюча система газ – повітря, яка будується з використанням регулятора співвідношення. Така система при збільшенні витрата палива Q_T автоматично збільшує витрату повітря Q_B з відповідним коефіцієнтом. Приклад такої системи показано на рис. 98.

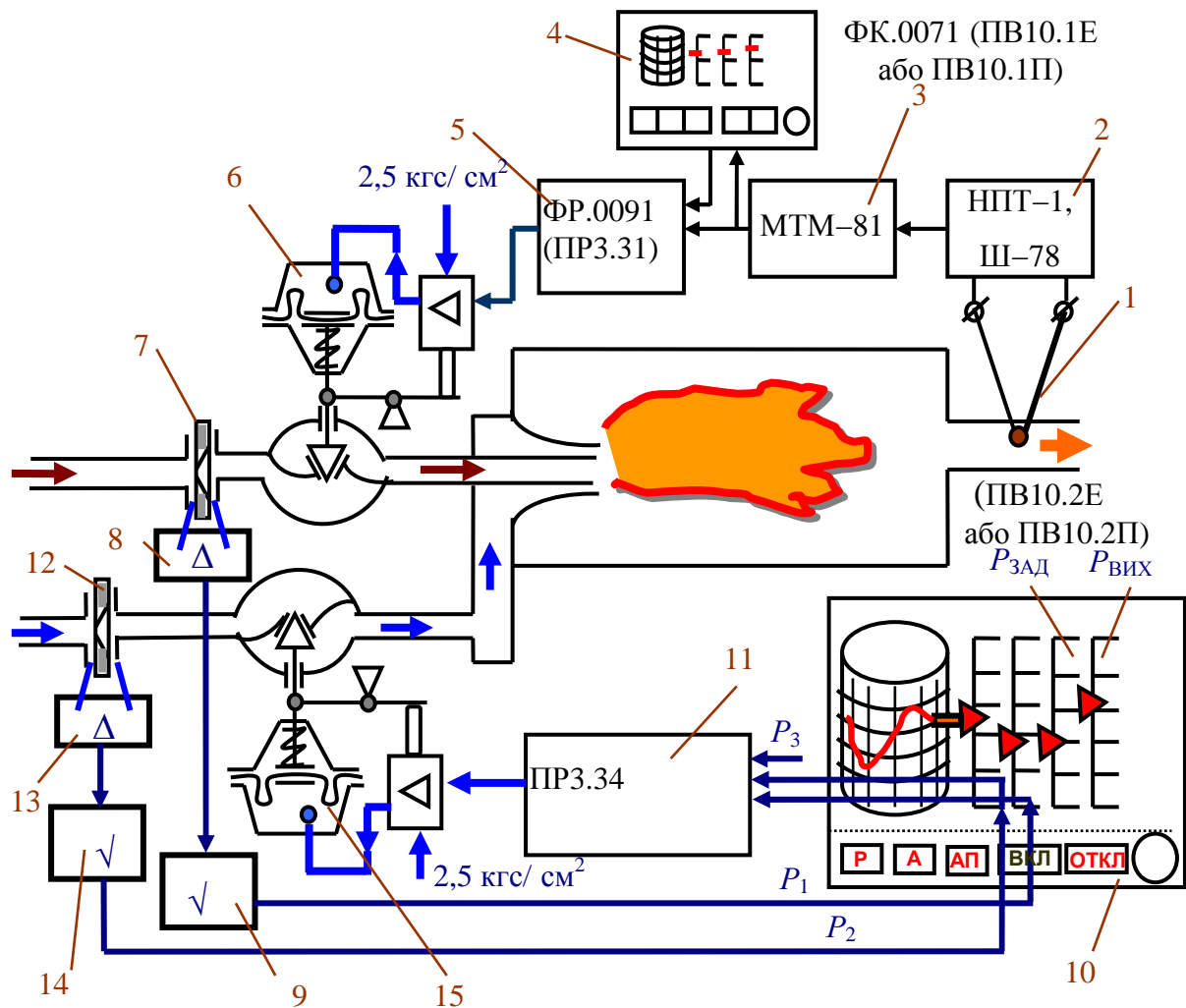


Рис. 98. Слідкуюча система газ – повітря з корекцією за третім параметром: 1 – чутливий елемент температури нагрітого повітря (термометр термоелектричний); 2 – нормуючий перетворювач температури (НПТ-1, Ш-78, НП-02 та ін.); 3 – узгоджуючий перетворювач (МТМ-810 та ін.); 4 – вторинний 3-х шкальний показуючий та реєструвальний прилад зі станцією керування ФК.0071 (ПВ10.1Е або ПВ10.1П – старі назви); 5 – пневматичний регулятор температури ФР.0091 (ПР3.31 або ін.); 6 – мембранний механізм з регулюючим органом витрати газу, який іде на нагрів повітря; 7 – чутливий елемент витрати газу; 8 – передавальний перетворювач тиску 13ДД11 (диференціальний манометр); 9 – прилад добутку кореня квадратного ПФ1.17; 10 – вторинний 4-х шкальний показуючий та реєструвальний прилад зі станцією керування ПВ10.2Е (ПВ10.2П); 11 – регулятор співвідношення на два параметри або регулятор співвідношення на два параметри з корекцією за третім параметром: ПР3.33 (ПР3.23) або ПР3.34 (ПР3.24); 12 – чутливий елемент витрати повітря; 13 – передавальний перетворювач тиску 13ДД11 (диференціальний манометр); 14 – прилад добутку кореня квадратного ПФ1.17; 15 – мембранний механізм з регулювальним органом витрати повітря

Вона працює наступним чином. Температура нагрітого газу, який виходить, вимірюється за допомогою чутливого елемента температури 1, наприклад термометра термоелектричного (термопари), на виході якого формується сигнал Е. р. с., який залежить від величини вимірюваної температури. Цей сигнал Е. р. с. поступає на вхід нормуючого перетворювача 2, наприклад НРТ–1 або Ш–78, де перетворюється в стандартний сигнал струму, наприклад 4...20 мА. Далі при допомозі узгоджувача перетворювача 3, наприклад МТМ–810, він перетворюється в сигнал пневматичного діапазону 0,2...1,0 кгс/см² і поступає на перший вхід регулятора температури 5 (ФР.0091), а також на вхід пневматичного реєструвального приладу 4 (ФК.0071). На другий вхід цього регулятора поступає сигнал задання температури, який задається задавачем, розташованим на лицевій панелі вторинного приладу ФК.0071. Створений після регулятора регулюючий вплив також у вигляді сигналу стандартного діапазону 0,2...1,0 кгс/см² поступає на проміжний підсилювач потужності (позиціонер), де підсилюється за рахунок додаткового силового тиску 2,5 кгс/см² для створення моменту зрушення та отримання більшого пересувного зусилля і поступає на мембранний механізм витрати палива 6, який за допомогою свого регулюючого органа збільшує або зменшує витрату палива у відповідності до сигналу керування, який надходить від регулятора. Так працює система регулювання або стабілізації температури нагрітого газу. Однак, для ефективної роботи цієї системи необхідно подавати певну кількість повітря у відповідності до потрібного коефіцієнта. Цю задачу дозволяє вирішити регулятор співвідношення 11. Для роботи цього регулятора потрібно одночасно вимірювати витрату палива, наприклад, за допомогою звужуючого пристрою 7 та витрату повітря, наприклад, за допомогою звужуючого пристрою 12. Виникаючі перепади тисків, які характеризують витрати палива та повітря, вимірюються за допомогою диференціальних ма-

нометрів 8 і 13 (наприклад, передавальних перетворювачів тиску 13ДД11). Для отримання лінійних характеристик після диференціальних манометрів ставлять прилади добутку кореня квадратного 9 та 14 (ПФ1.17). Сигнали про витрату палива та повітря у вигляді сигналів стандартного пневматичного діапазону $0,2 \dots 1,0 \text{ кгс/см}^2$ поступають на показувальні шкали вторинного чотиришкального показувального та реєструвального приладу ПВ10.2Е (ПВ10.2П) і на перший та другий входи регулятора співвідношення 13 (наприклад, ПР3.33). Регулятор виробляє регулювальний вплив, який за допомогою виконавчого механізму з позиціонером та регулювальним органом 15 реалізується на лінії подачі повітря. Структурна схема такого регулятора показана на рис. 99.

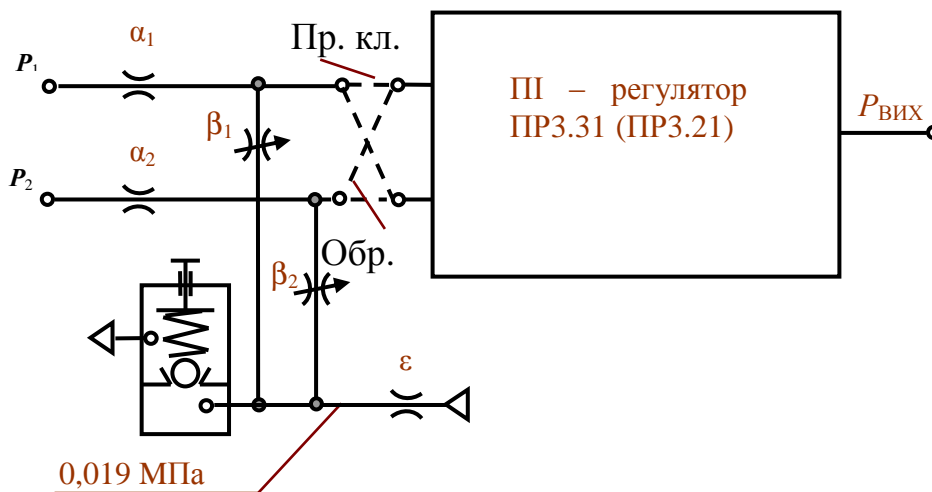


Рис. 99. Структурна схема регулятора співвідношення ПР3.33 (ПР3.23)

Він складається з пропорційно-інтегрального регулятора (наприклад, ПР3.31 або ПР3.21) і підключених до його входів двох дросельних ділянок $\alpha_1 - \beta_1$ та $\alpha_2 - \beta_2$, на входи яких поступають значення сигналів про витрату палива P_1 та повітря P_2 і які саме і дозволяють задавати потрібне співвідношення.

Необхідні коефіцієнти співвідношення між витратою палива та витратою повітря $C = P_1 / P_2$ регулюються за допомогою дроселів β_1 та β_2 . Для

гарантованого забезпечення роботи регулятора в стандартному пневматичному діапазоні $0,2 \dots 1,0 \text{ кгс/см}^2$ другі входи дросельних дільників $\alpha_1 - \beta_1$ та $\alpha_2 - \beta_2$ підключені до тиску $0,02 \text{ МПа}$.

Такий регулятор співвідношення на два входи дозволяє підтримувати потрібне співвідношення між витратою палива Q_T та витратою повітря Q_B , але, в силу того, що постійно можуть змінюватись умови експлуатації камери згоряння, склад і калорійність палива, температура і вологість повітря, підсоси повітря в топку, а також інші фактори, проста система співвідношення параметрів не здатна забезпечити максимальну теплотворну спроможність палива. Це можна проілюструвати за допомогою рис. 99.

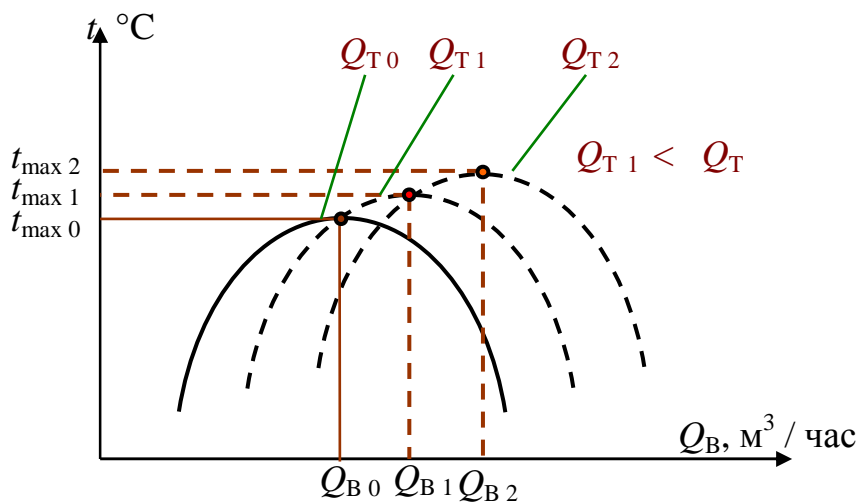


Рис. 100. Залежність між максимумом температури нагрітого повітря в печі t_{\max} та витратою спалюємого повітря Q_B в залежності від кількості палива, що подається Q_T при змінюємих умовах роботи

Із цього рисунка видно, що для забезпечення максимальної (оптимальної) тепловіддачі палива при змінних умовах, потрібно кожний раз подавати кількість повітря в іншому співвідношенні, тобто, необхідно постійно корегувати це співвідношення. Цю задачу оптимізації дозволяє вирішити регулятор співвідношення двох параметрів з корекцією за третім параметром, наприклад, ПР3.34 (ПР3.24). Такий регулятор має структуру, аналогічну раніш розглянутому (наприклад, ПР3.33) і складається з ПІ-регулятора

1, задавача нульового пневматичного тиску 0,02 МПа 2, трьох дросельних діленьників $\alpha_1 - \beta_1$, $\alpha_2 - \beta_2$ та $\alpha_3 - \beta_3$, однак доповнений спеціальним двосопловим пневматичним функціональним елементом 3, який дозволяє зробити опір β_2 залежним від третього сигналу P_3 . При подачі сигналу P_3 мембрана цього елемента прогинається і одночасно прикриває два сопла, змінюючи їх загальний опір. Рівновага такого мембранного блока буде тоді, коли в камері А буде такий же самий тиск, як і в камері Б. Для начального запуску і для того, щоб наблизити характеристику регулятора до лінійної, камера А підживлюється із лінії живлення через змінний дросель γ . Цей дросель не має шкали, так як установка його в найбільш вигідне положення здійснюється на заводі-виробнику при отриманні кривих і регулюванні приладу ПР3.34. Структурна схема такого регулятора співвідношення показана на рис. 101.

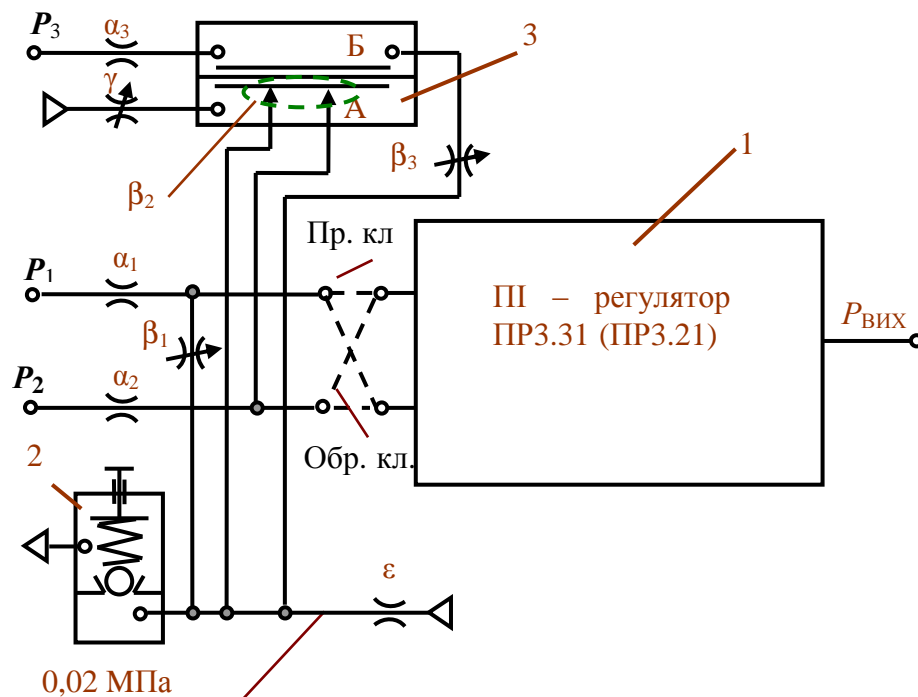


Рис. 101. Структурна схема регулятора співвідношення на два параметри з корекцією за третім параметром ПР3.34 (ПР3.24) : 1 – ПІ-регулятор; 2 – задавач пневматичного нуля (0,02 МПа); 3 – пневматичний функціональний двосопловий елемент, який дозволяє створити змінний опір (β_2)

Принципова схема такого регулятора представлена на рис. 102.

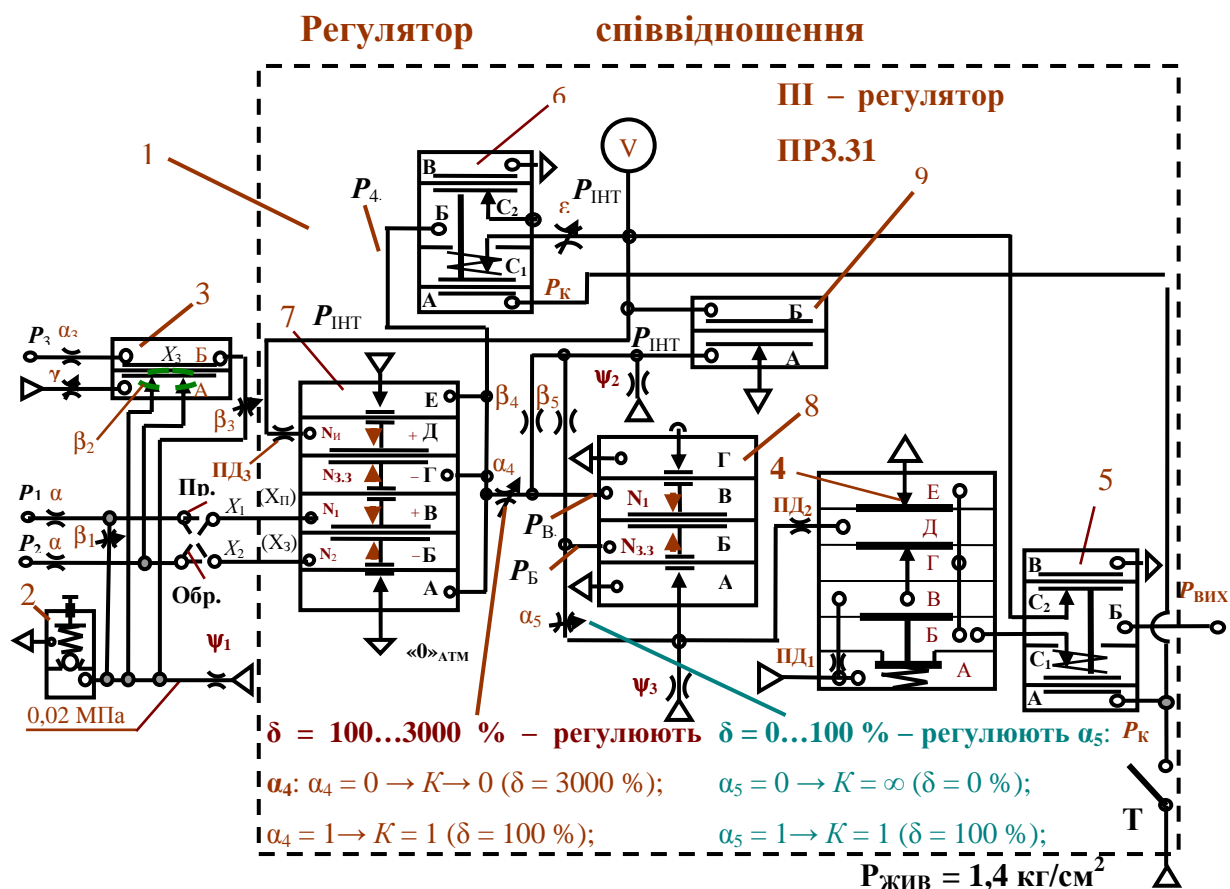


Рис. 102. Структурна схема регулятора співвідношення на два параметри з корекцією за третім параметром ПР3.34: 1 – ПІ-регулятор; 2 – задавач пневматичного нуля (0,02 МПа); 3 – пневматичний функціональний двосопловий елемент, який дозволяє створювати змінний опір (β_2); 4 – точний потужний повторювач П2П.7; 5, 6 – реле відключення П – 1108; 7 – елемент порівняння П2ЕС.3; 8 – елемент порівняння П2ЕС.1

Лінійність статичних характеристик досягається за рахунок введення двох суматорів в прямий канал та в лінію зворотного зв'язку операційного підсилювача П2ЕС.1.

Всі елементи монтуються на платі з органічного скла за допомогою гвинтів та з'єднувальних ніжок, які затуляються заглушками. Зв'язок між елементами на платі здійснюється через профрезеровані в органічному склі канали та отвори в елементах. Нерегульований опір ПД₁ вбудовано в повторювач-підсилювач потужності, а ПД₂ вставлено у вхідний канал цього

ж елемента, нерегульований опір ПД₃ (Ø 0,18 × 7 мм) виконується у вигляді капіляра, вставленого в канал зворотного зв'язку елемента порівняння П2ЕС.3 (см. рис. 102).

Залежність між тисками X_2 и X_3 (див. рис. 102) при постійному тиску P_2 не являється лінійною та одною для всіх регуляторів ПР3.34. Для наближення цієї залежності до лінійної, як вже було сказано вище, в камеру А функціонального елемента 3 подається живлення через регульований дросель γ . Залежність X_2 від тиску P_2 при постійному тиску X_3 в камері Б функціонального елемента 3 наведена на рис. 103.

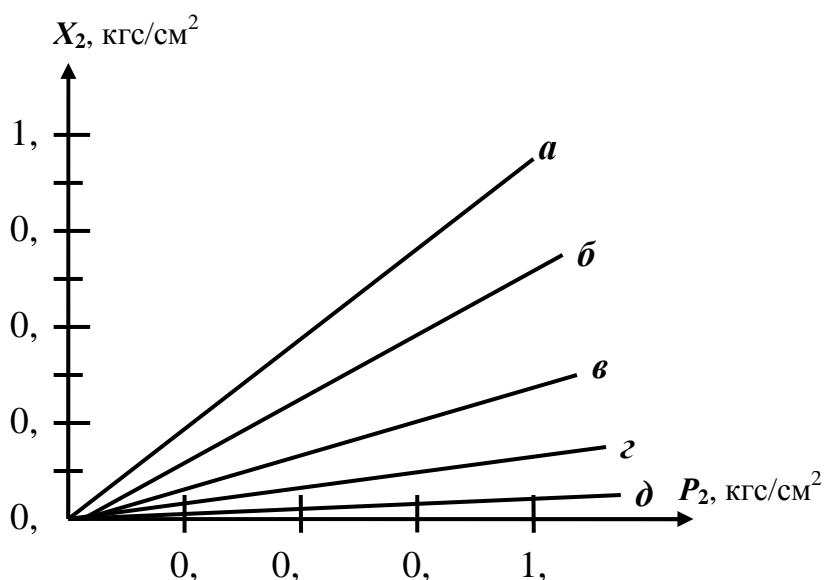


Рис. 103. Варіанти статичної характеристики тиску X_2 в камері Б (або В) елемента порівняння П2ЕС.3 (поз.7 рис. 101) від вхідного тиску P_2 при наявності в лінії P_2 керуемого третім сигналом P_3 пневматичного опору β_2 , створеного за допомогою спеціального двосоплового функціонального елемента 3 (див. рис. 100). Наведені варіанти статичної характеристики приведені при наступних значеннях тиску X_3 в камері Б функціонального елемента 3 і коефіцієнті співвідношення $C_1 = X_2 / P_2$:

- а) $X_3 = 1,0$ кгс/см²; $C_1 = 0,95$; б) $X_3 = 0,8$ кгс/см²; $C_1 = 0,7$;
- в) $X_3 = 0,6$ кгс/см²; $C_1 = 0,33$; г) $X_3 = 0,4$ кгс/см²; $C_1 = 0,14$;
- д) $X_3 = 0,2$ кгс/см²; $C_1 = 0,05$

Характеристики, наведені на рис. 103, додаються до паспорта приладу і визначаються, як уже було відмічено, при проведенні заводських ви-

пробувань. Треба відмітити, що коефіцієнти C_0 та C_2 визначаються наступним чином:

$$C_0 = X_1/P_1; \quad C_2 = X_3/P_3. \quad (140)$$

Регулятор ПР3.34 працює так. Як уже відмічалось раніш, сигнали P_1 та P_2 , співвідношення між якими необхідно підтримувати, поступають на входи дросельних дільників $\alpha_1 - \beta_1$ і $\alpha_2 - \beta_2$. Дросель β_1 регулюється вручну, а дросель β_2 регулюється функціональним елементом 3 (див. рис. 101) за допомогою третього сигналу P_3 . Коефіцієнт впливу цього сигналу (коефіцієнт співвідношення C_2) встановлюється вручну за допомогою дроселя β_3 .

Далі ці сигнали P_1 і P_2 перетворюються в сигнали X_1 і X_2 з коефіцієнтами C_0 і C_1 і поступають на входи ПІ – регулятора, наприклад, ПР3.31 з лінійними статичними характеристиками. Сигнал X_1 є еквівалентним сигналу X_{3M} (змінна), а сигнал X_2 є еквівалентним сигналу завдання X_3 .

Далі ці сигнали попадають в додатну камеру В (сигнал X_1) та у від'ємну камеру Б (сигнал X_2) суматора 7, який є ключовим елементом інтегральної та пропорційної ланок, так як цей елемент виробляє сигнал розбіжності $(X_1 - X_2)$ і дозволяє його інтегрувати за допомогою інерційної ланки, яка входить, в свою чергу, в інтегральну ланку. Крім того, інтегральна ланка складається з регульованого дроселя ε , ємності V , точного малопотужного повторювача П2П.1 (поз. 9) та реле відключення 6, яке дозволяє здійснювати безударний перехід з ручного керування на автоматичне за допомогою командного тиску P_K . Інтегральна ланка виробляє інтеграл за часом від величини розузгодження між тисками X_1 і X_2

$$P_1 = \frac{1}{T_I} \int_0^t (X_1 - X_2) dt, \quad (141)$$

де T_I – постійна часу інтегрування.

Завдяки двом органам настройки забезпечується плавність настроювання межі пропорційності в діапазоні від 2 до 3000 %.

При настроюванні в діапазоні від 100 % до 3000 %, тобто, коли коефіцієнт передачі $K \leq 1$, дросель α_5 повинен бути повністю відкритим, а потрібне значення межі пропорційності задається регульованим дроселем α_4 . В цьому випадку регулятор працює наступним чином.

Після суматора 7 отримують сигнал $P_4 = (X_1 - X_2) + P_I$, який поступає на вхід дроселя α_4 дросельного дільника $\alpha_4 - \beta_4$. На другий вхід (вільний вхід дроселя β_4) цього дросельного дільника поступає сигнал інтегральної складової P_I з виходу повторювача 9 інтегральної ланки (інтегральної комірки). Оскільки дросель α_5 повністю відкрито, то коефіцієнт зворотного зв'язку повторювача 8 $K_{33} = 1$. В цьому випадку дана схема реалізує операцію множення на коефіцієнт $K \leq 1$ (див. рис. 60). Аналітично це можна показати так. Сигнал в камері В повторювача 8, згідно до рівняння дросельного суматора, визначається так:

$$P_B = \frac{\alpha_4}{\alpha_4 + \beta_4} P_4 + \frac{\beta_4}{\alpha_4 + \beta_4} P_I. \quad (142)$$

Так як

$$P_4 = (X_1 - X_2) + P_I, \quad (143)$$

то

$$P_B = \frac{\alpha_4}{\alpha_4 + \beta_4} ((X_1 - X_2) + P_I) + \frac{\beta_4}{\alpha_4 + \beta_4} P_I, \quad (144)$$

або, після розкриття скобок:

$$P_B = \frac{\alpha_4}{\alpha_4 + \beta_4} (X_1 - X_2) + P_I. \quad (145)$$

Пам'ятаючи, що $P_1 = \frac{1}{T_1} \int_0^t (X_1 - X_2) dt$ та що в цьому випадку

$P_B = P_{\text{ВИХ}}$, остаточно отримаємо формулу закону регулювання:

$$P_{\text{ВИХ}} = K_P (X_1 - X_2) + \frac{1}{T_1} \int_0^t (X_1 - X_2) dt, \quad (146)$$

де $K_P = \frac{\alpha_4}{\alpha_4 + \beta_4} \leq 1$.

Якщо α_4 повністю відкрито, то $K_P = 1$ і $\delta = (1/K_P) \times 100\% = 100\%$. Коли ж α_4 повністю закрито, то $K_P \rightarrow 0$, а $\delta \rightarrow \infty$.

Якщо ж працюють в діапазоні межі пропорційності від 2 % до 100 %, тобто, коли $K \geq 1$, то дросель α_4 роблять повністю відкритим, виставляючи його на відмітку 100 %, а потрібну межу пропорційності встановлюють дроселем α_5 .

В цьому випадку для отримання закону регулювання поступають аналогічно.

$$P_4 = (X_1 - X_2) + P_1 = P_B, \quad (147)$$

так як α_4 повністю відкритий.

$$P_B = \frac{\alpha_5}{\alpha_5 + \beta_5} P_{\text{ВИХ}} + \frac{\beta_5}{\alpha_5 + \beta_5} P_1, \quad (148)$$

крім того, із умови рівноваги мембранного блока $P_B = P_V = P_4$.

Тоді

$$(X_1 - X_2) + P_1 = \frac{\alpha_5}{\alpha_5 + \beta_5} P_{\text{ВИХ}} + \frac{\beta_5}{\alpha_5 + \beta_5} P_1, \quad (149)$$

перетворюючи далі, маємо:

$$P_{\text{ВИХ}} = \frac{\alpha_5 + \beta_5}{\alpha_5} (X_1 - X_2) + P_1. \quad (150)$$

Значення $K_P = \frac{\alpha_5 + \beta_5}{\alpha_5} \geq 1$. Підставляючи отримане раніше значення

P_1 , можна отримати рівняння регулятора для межі пропорційності δ , яка може змінюватися в межах від 2 % до 100 %:

$$P_{\text{вих}} = K_P(X_1 - X_2) + \frac{1}{T_I} \int_0^t (X_1 - X_2) dt. \quad (151)$$

В цьому випадку настройка δ здійснюється дроселем α_5 слідуючим чином. Якщо $\alpha_5 = 1$, тобто $K_P = 1$, то $\delta = 100$ %. Якщо ж $\alpha_5 = 0$, тобто дросель α_5 повністю закрито, то $K_P \rightarrow \infty$, тобто $\delta \rightarrow 0$ %.

Час інтегрування T_I настроюють регулюванням дроселем ε . Якщо дросель ε повністю закрито, то $T_I \rightarrow \infty$, тобто час інтегрування максимальний і вплив інтегральної складової на закон регулювання мінімальний. В цьому випадку регулятор перетворюється в пропорційний. Якщо ж ε повністю відкрито, то $T_I \rightarrow 0$, тобто час інтегрування мінімальний і вплив інтегральної складової є максимальним.

Треба зауважити, що, як видно із рівнянь регулювання, в регуляторах ПР3.33 і ПР3.34 час інтегрування T_I настроюється незалежно від межі пропорційності δ . Крім того, як було зауважено вище, ядром цих регуляторів є пропорційно-інтегральні регулятори, наприклад ПР3.31. Тому отримані рівняння регулювання є і рівняннями цих регуляторів також. Тільки змінна X_1 , як уже було відмічено, еквівалентна сигналу змінної $X_{3\text{М}}$, а сигнал X_2 еквівалентний сигналу завдання $X_{3\text{Д}}$.

Для регулятора ПР3.31 отримане рівняння буде мати вигляд:

$$P_{\text{вих}} = K_P(X_{3\text{М}} - X_{3\text{Д}}) + \frac{1}{T_I} \int_0^t (X_{3\text{М}} - X_{3\text{Д}}) dt. \quad (152)$$

При подачі командного тиску $P_K = 1$ регулятор переходить в ручний режим керування, при цьому сопло C_1 реле відключення 5 закривається,

відключаючи вихід регулятора від виконавчих механізмів, а сопло C_2 відкривається. Через це відкрите сопло C_2 в ємності V інтегральної ланки з вихідної лінії формується сигнал початкового положення виконавчого механізму. Крім того, як уже відмічалось, реле відключення 6 відключає дросель ϵ , перекриває лінію інерційного додатного зворотного зв'язку елемента порівняння 7, запобігаючи лінію виконавчого механізму від скачка тиску в проміжному положенні перемикача, завдяки чому регулятор готується до плавного (безударного) переходу на автоматичне регулювання. Опір $ПД_2$ зазначено для запобігання ймовірних автоколивань.

Наведений на рис. 102 регулятор, загальний вигляд якого наведений на рис. 104, має наступні характеристики.

За значення вхідного сигналу $X_{ВХ}$ приймається різниця між значеннями змінних, які взяті в заданому співвідношенні, тобто $X_{ВХ} = (X_1 - X_2)$.

Вихідний сигнал регулятора $P_{ВІХ}$ лежить в межах от 20 кПа до 100 кПа (от 0,2 до 1,0 кгс/см²). Граничні значення вихідного сигналу лежать в межах від 0...5 кПа (від 0...0,05 кгс/см²) до 100...140 кПа (до 1,0...1,4 кгс/см²).

Межі пропорційності δ , як уже було відмічено, змінюються в межах від 2 % до 3000 %.

Граничне значення діапазону налаштування часу інтегрування T_I знаходиться в межах від 0,05 до 100 *хвилин* на позначці шкали ∞ (при закритому опорі).

Діапазон настроювань співвідношення знаходиться в межах від 1:1 до 5:1 або від 1:1 до 10:1. При не вказаному діапазоні регулятор поставляється зі шкалами від 1:1 до 5:1.

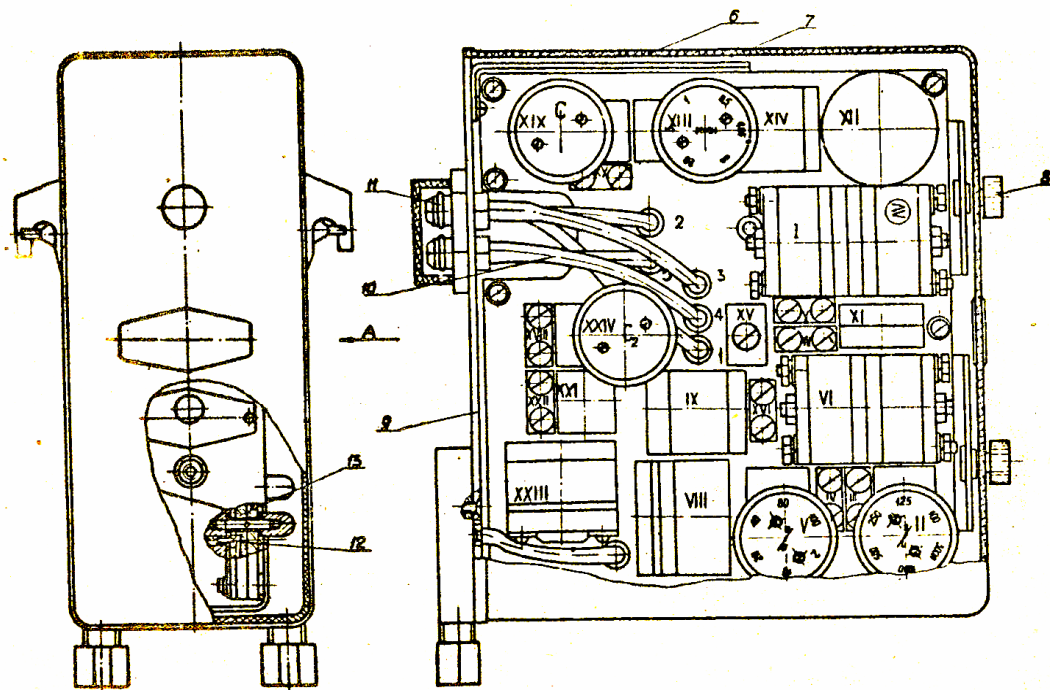


Рис. 104. Загальний вигляд регулятора

Тиск живлення $140 \text{ кПа} \pm 14 \text{ кПа}$ ($1,4 \text{ кгс/см}^2 \pm 0,14 \text{ кгс/см}^2$). Повітря має бути висушене і очищене від пилу та масла.

Тиск компресора перед стабілізатором живлення регулятора має лежати в межах від 300 до 600 кПа (от 3 до 6 кгс/см²).

Межі допустимої основної похибки (зміщення контрольної точки) регулятора не повинні перевищувати 0,5 % від нормуючого значення вхідного сигналу 80 кПа ($0,8 \text{ кгс/см}^2$).

Нелінійність статичних характеристик, виражена в процентах від нормуючого значення вхідного сигналу, не перевищує $\pm 1 \%$ для межі пропорційності 100 % і $\pm 3 \%$ для всіх останніх значень межі пропорційності в межах от 2 % до 3000 %.

Основна похибка і нелінійність статичних характеристик визначається при температурі зовнішнього повітря $20 \pm 2 \text{ }^\circ \text{C}$; відносній вологості по-

вітря від 30 до 80 %; відхиленні тиску живлення не більш ± 3 % від його номінального значення (± 4 кПа або $\pm 0,04$ кгс/см²).

Регулятор забезпечує передачу пневматичних сигналів на відстань по трасі до 300 м при внутрішньому діаметрі імпульсної лінії зв'язку 6 мм і може використовуватися в пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях.

Температура експлуатації регулятора лежить в межах від 5 до 50 °С при максимальній вологості повітря 80 % та температурі 35 °С і при більш низьких температурах без конденсації вологи.

Витрата повітря складає 6 л/хв для ПР3.33 і 8 л/хв для ПР3.34. Витрата повітря у вхідних лініях не перевищує 1 л/хв.

Вага регулятора ПР3.33 не перевищує 3,3 кг; вага ПР3.34 – 3,7 кг.

При монтажі регулятора слід дотримуватись наступних правил:

а) При керуванні малоінерційним об'єктом регулятор повинен бути розташованим на відстані 5...10 м і кріпитися з використанням спеціальної деталі “гніздо” (см. рис. 104). Прилади контролю можуть розташовуватись на відстані до 300 м від регулятора. Якщо ж об'єкт інерційний, то регулятор також можна закріпити на відстані до 300 м, причому, бажано його встановлювати на корпусі приладу.

б) Регулятор повинен розташовуватись в зручному для обслуговування положенні. Живлення стиснутим повітрям повинно здійснюватись через фільтр та стабілізатор.

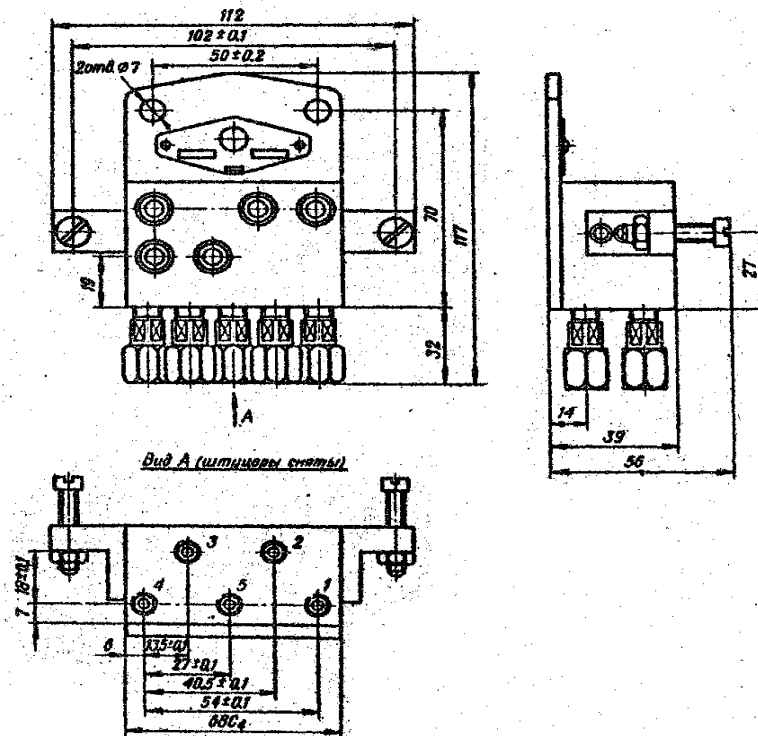


Рис. 105. Деталь типу “гнездо”.

в) Регулятор треба встановлювати вертикально.

г) Регулятор не може бути встановленим в умовах агресивних середовищ, які можуть діяти на захищені хромонікелевими і кадмієвими покриттями конструкційні сталі, кольорові метали та їх сплави, а також на гуму, мембранне полотно, оргскло, полістирол.

Габаритні розміри регулятора ПР3.34 показані на рис. 106.

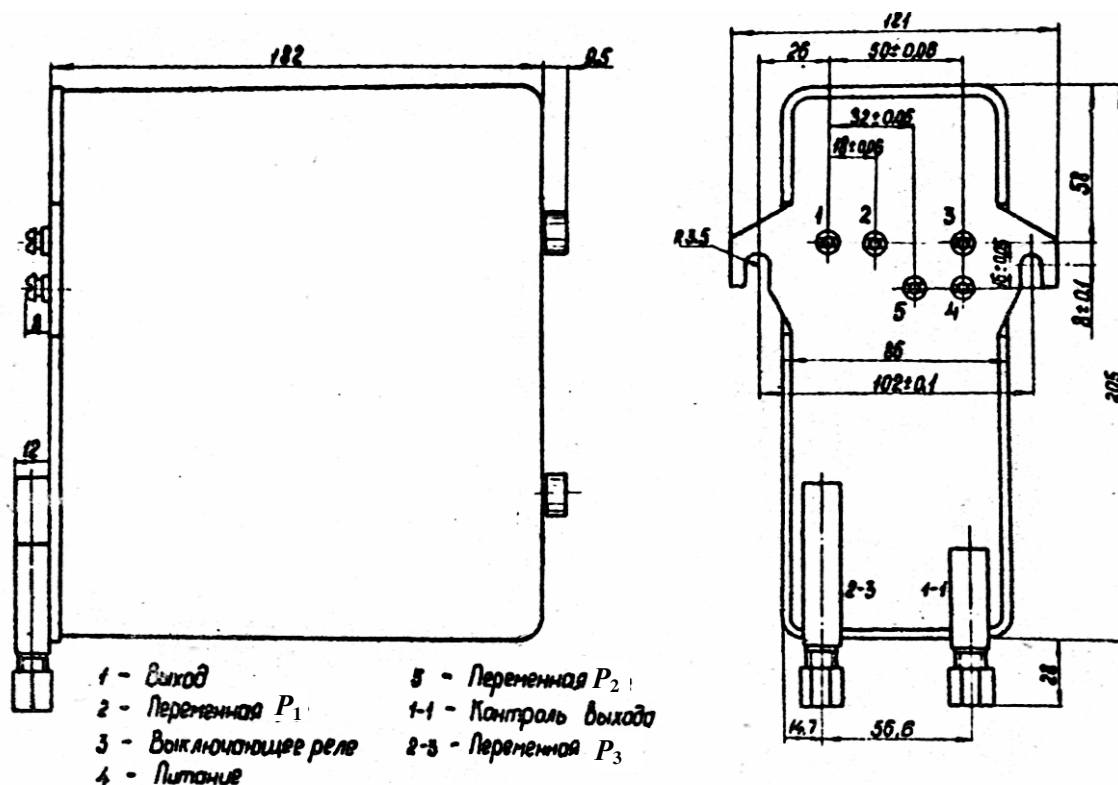


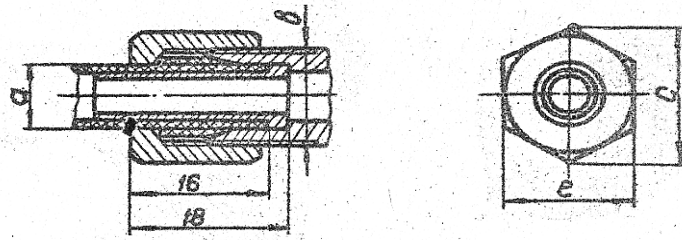
Рис. 106. Габаритні розміри регулятора ПР3.34

Регулятор встановлюється за допомогою штекерного рознімача на корпусі приладу контролю, або за допомогою деталі “гніздо” (у випадку монтаж поруч з виконавчим механізмом). Керівний параметр P_2 підводиться до штуцера програмного задавача (на регуляторі штуцер 5). P_1 підключається до штуцера 2. До штуцера 1-1 підключається контрольний манометр. В регуляторі ПР3.34 для підключення третього параметра використовується спеціальний штуцер 2-3. Кріплення регулятора до штекерного рознімача або гнізда, а також до стіни здійснюється болтами М6.

Лінії зв'язку та лінії живлення регуляторів мають монтуватися мідними, латунними, пластмасовими або алюмінієвими трубками (для тропічного клімату мідними та латунними) з діаметром 6×1 або 8×1 мм.

Різні варіанти штуцерів, які заказують для регулятора та гнізда, показані на рис. 107.

Присоединение пластмассовых трубок



Присоединение металлических трубок

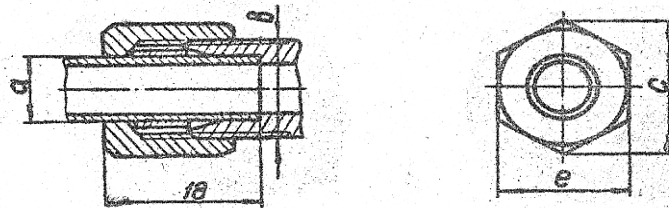


Таблица 2. Варианты штуцерів

для трубок $\varnothing 6 \times 1$ мм				для трубок $\varnothing 8 \times 1$ мм			
a	b	e	c	a	b	e	c
$\varnothing 6$	M10×1-6g	12	$\varnothing 13,8$	$\varnothing 8$	M12×1-6g	14	$\varnothing 16,2$

Рис. 107. Варианты штуцерів, які замовляються для регулятора і гнізда

Якщо тип трубок не оговорено, штуцера виготовляють під пластмасову трубку $\varnothing 6 \times 1$ мм.

Лінії зв'язку мають монтуватися ретельно, протікання повітря не допускається. Перед включенням регулятора лінії зв'язку продувають для видалення пилу та вологи.

Залежність між зміною параметра P_1 і напрямком зміни тиску на виході регулятора визначається положенням розташованого з зворотної сторони плати диску з написами «прямо» та «зворотно» відносно риски на платі. Якщо проти риски стоїть напис «прямо», то збільшення сигналу P_1 приведе до збільшення вихідного тиску регулятора, якщо ж проти риски стоїть напис «зворотно», то збільшення P_1 приведе до зменшення вихідного сигналу регулятора.

При підключенні регулятора параметр P_3 вибирається за графіком, який надається до регулятора (див. рис. 103). Межу пропорційності (коефіцієнт передачі), сталу інтегрування і сталу диференціювання вибирають в залежності від властивостей об'єкта керування.

Регулятор має бути підключеним до приладу системи «СТАРТ» наступним чином:

1. Встановити перемикач приладу контролю в положення ручного керування (нажаті кнопки Р і *ОТКЛ.*). На протязі деякого часу процес підтримання параметра P_1 на заданому значенні відбувається вручну обертанням ручки задавача. Контроль величини параметру ведеться за шкалою приладу.

2. Включити кнопку АП (регулятор все ще остається відключеним) та запам'ятати величину другого параметру, який спостерігається по шкалі завдання (для ПРЗ.34 при налаштуванні $P_2 = const$).

3. Перевести перемикач в положення ручного керування і, впливаючи на параметр P_1 ручним задавачем, добитися необхідного співвідношення між параметрами.

4. Перевірити співвідношення, встановлене на регуляторі, спостерігаючи за його вихідним тиском (по манометру, підключеному до штуцера І-І, рис. 105).

Якщо вихідний тиск регулятора не дорівнює тиску на виконавчому механізмі, то корегуючи співвідношення добиваються рівності цих тисків, після чого регулятор буде підготовлено до переходу на автоматичне регулювання.

5. Натиснути кнопки АП і *ВКЛ.* Про якість регулювання судять за положенням стрілки вторинного приладу. При необхідності корегують параметри налаштування регулятора.

При переході з автоматичного режиму на ручний необхідно:

1. Відключити регулятор і натиснути кнопку А. Спостерігаючи по шкалі приладу контролю, вирівняти тиск завдання з тиском на виконавчому механізмі.

2. При натиснутій кнопці Р вести керування виконавчим механізмом за допомогою задавача, розташованого на лицьовій панелі приладу контролю.

8.6. Схема регулятора ФР.0091 системи «СТАРТ»

Наведемо без опису роботи схему нового ПІ – регулятора ФР.0091³. Його робота подібна до роботи регулятора ПР3.31. Лише зауважимо, що у цього регулятора використовуються тримембранні реле відключення 5 і 6.

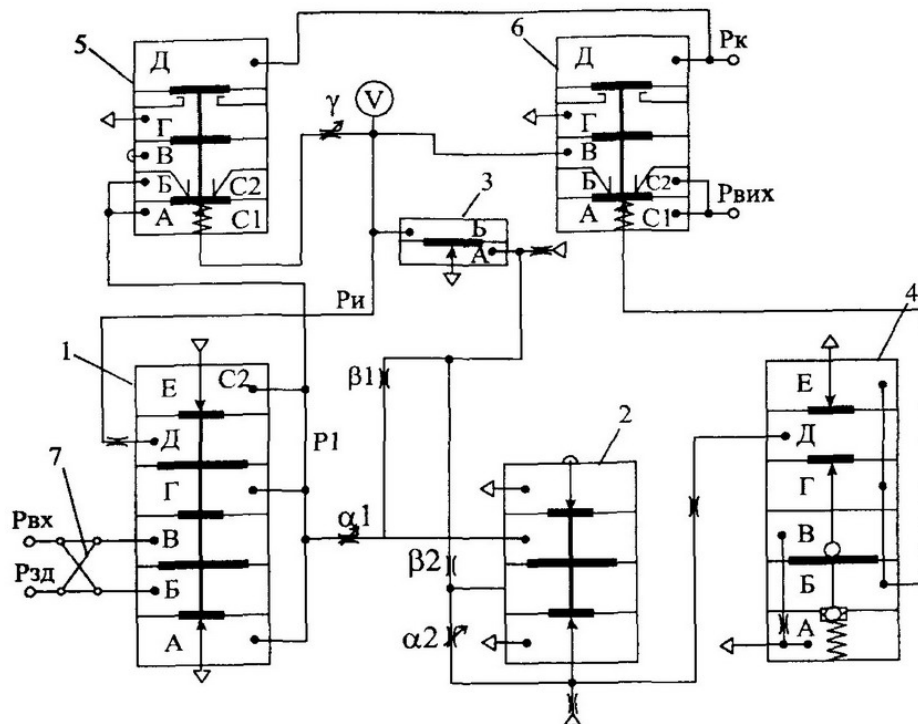


Рис. 108. Схема сучасного ПІ – регулятора системи «СТАРТ» ФР.0091

³ Бабіченко А.К., Тошинський В.І., Михайлов В.С., В.І.Молчанов В.І., ПодустовМ.О.,Пугановський О.В., Вельма В.І. . Промислові засоби автоматизації.Ч.2 Регулювальні і виконавчі пристрої/ За заг. ред. А.К.Бабіченка: Навч. посібник / - Харків, НТУ "ХПІ", 2003 р. – 658 с.– с. 173

8.7. Релейні (позиційні) регулятори ПР1.5 та ПР1.6 системи «СТАРТ»

Релейним (або позиційним) зветься регулятор, у якого вихідний сигнал може приймати два або декілька кінцевих значення при неперервній зміні вхідного сигналу. При цьому регулюючий орган виконавчого механізму, який підключено до регулятора, переміщується із одного крайового положення в інше. Існують двопозиційні, трипозиційні та багато позиційні регулятори [11]. Чим більше позицій, тим більш плавно ведеться процес регулювання, але регулятор становиться більш дорогим. На рис. 109 приведена схема пневматичного регулятора ПР1.5

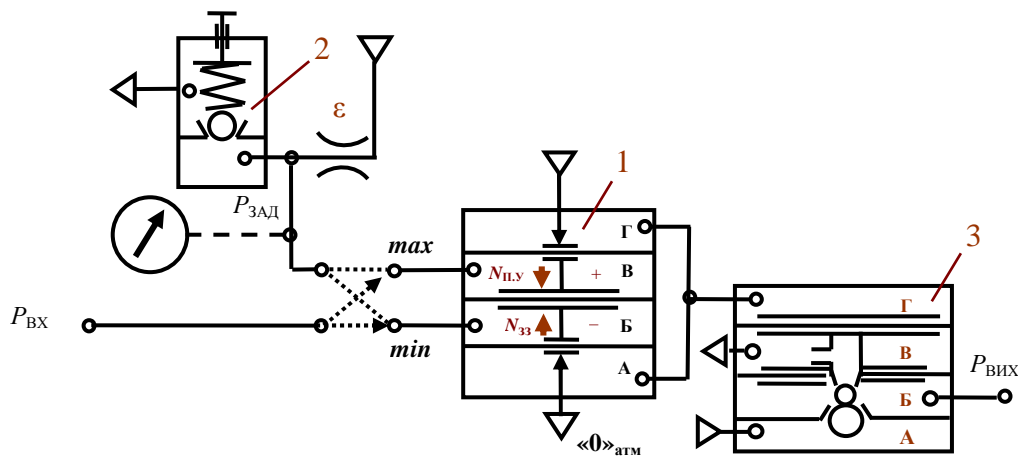


Рис. 109. Схема позиційного регулятора ПР 1.5

Цей регулятор може сигналізувати про максимальне або мінімальне значення вхідного сигналу та відповідно відкривати або закривати регулювальний орган. Для цього у нього є перемикач налаштування режиму роботи на «мінімум» (*min*) чи «максимум» (*max*). Якщо вхідний сигнал $P_{ВХ}$ поступає у від'ємну камеру Б тримембранного елемента порівняння 1, то регулятор налаштовано на «мінімум». В цьому випадку $P_{ВИХ} = «1»$ тоді, коли $P_{ВХ} < P_{ЗАД}$, тобто коли вхідний сигнал менше заданого значення, яке задається задавачем 2. Якщо ж $P_{ВХ} > P_{ЗАД}$, то $P_{ВИХ} = 0$. Підсилювач 3 слугує для

можливості передачі сигналу керування на відстань до 300,00 м. Сигнал завдання контролюється манометром 4. При налаштуванні на «максимум» регулятор працює навпаки. Цей регулятор має той недолік, що має дуже малу зону повернення $\Delta P_{ВХ}$ (інакше її називають зоною не однакового значення або зоною нечутливості). Вона існує завдяки тому, що на мембранний блок елемента порівняння 1 (П2ЕС.1) діє сила від реакції струменю повітря в камері Г та гістерезисні ефекти в прогумованих тканинних мембранах. Регулювальна характеристика такого регулятора показана на рис. 110.

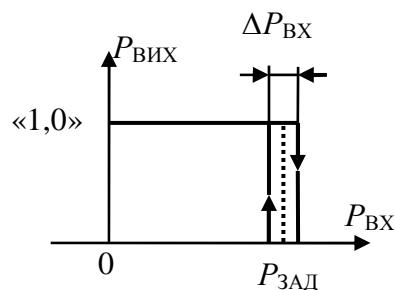


Рис. 110. Вихідна регулювальна характеристика регулятора ПР1.5, який налаштовано на «мінімум» (*min*)

Цього недоліку немає регулятор з регульованою зоною повернення Δ типу ПР1.6. Схема цього регулятора приведена на рис. 111.

Дія цього регулятора полягає в тому, що половина ширини зони повернення $\frac{1}{2}\Delta$ або складається з сигналом завдання $P_{ЗД}$ ($P_{ЗД}$), або віднімається від нього в залежності від напрямку зміни вхідного сигналу. Якщо прилад налаштовано на «максимум», тобто, коли $P_{ВХ}$ заходить в камеру Д елемента порівняння 1, а сигнал завдання $P_{ЗД}$ — в камеру Б цього елемента, то на виході елемента 1 і на виході всієї схеми (вихід реле відключення 4) буде сигнал, який дорівнює «1». При чому, на виході реле 4 величину умовної «1» налаштовують при допомозі кулькового задавача 5. Сигнал кулькового задавача 5 підсилюють підсилювачем 6 і далі через проміжне

реле відключення 3 цей сигнал іде на вихід реле 4, утворюючи сигнал $P_{\text{ВІХ}}$. В цьому випадку, тобто у випадку налаштування схеми на «максимум» переключення вниз мембранного блоку елемента 1 і формування сигналу $P_{\text{К1}} = \langle 1 \rangle$ відбудеться тоді, коли вхідний сигнал досягне значення $P_{\text{ВХ}} \geq (P_{\text{ЗАД}} + \frac{1}{2}\Delta)$. Зворотне спрацьовування відбудеться при русі сигналу $P_{\text{ВХ}}$ у зворотному напрямку і досягнення їм значення $P_{\text{ВХ}} < (P_{\text{ЗАД}} - \frac{1}{2}\Delta)$. Така дія можлива тому, що мембранні блоки реле 7 і 8 підіймуться у верхнє положення,

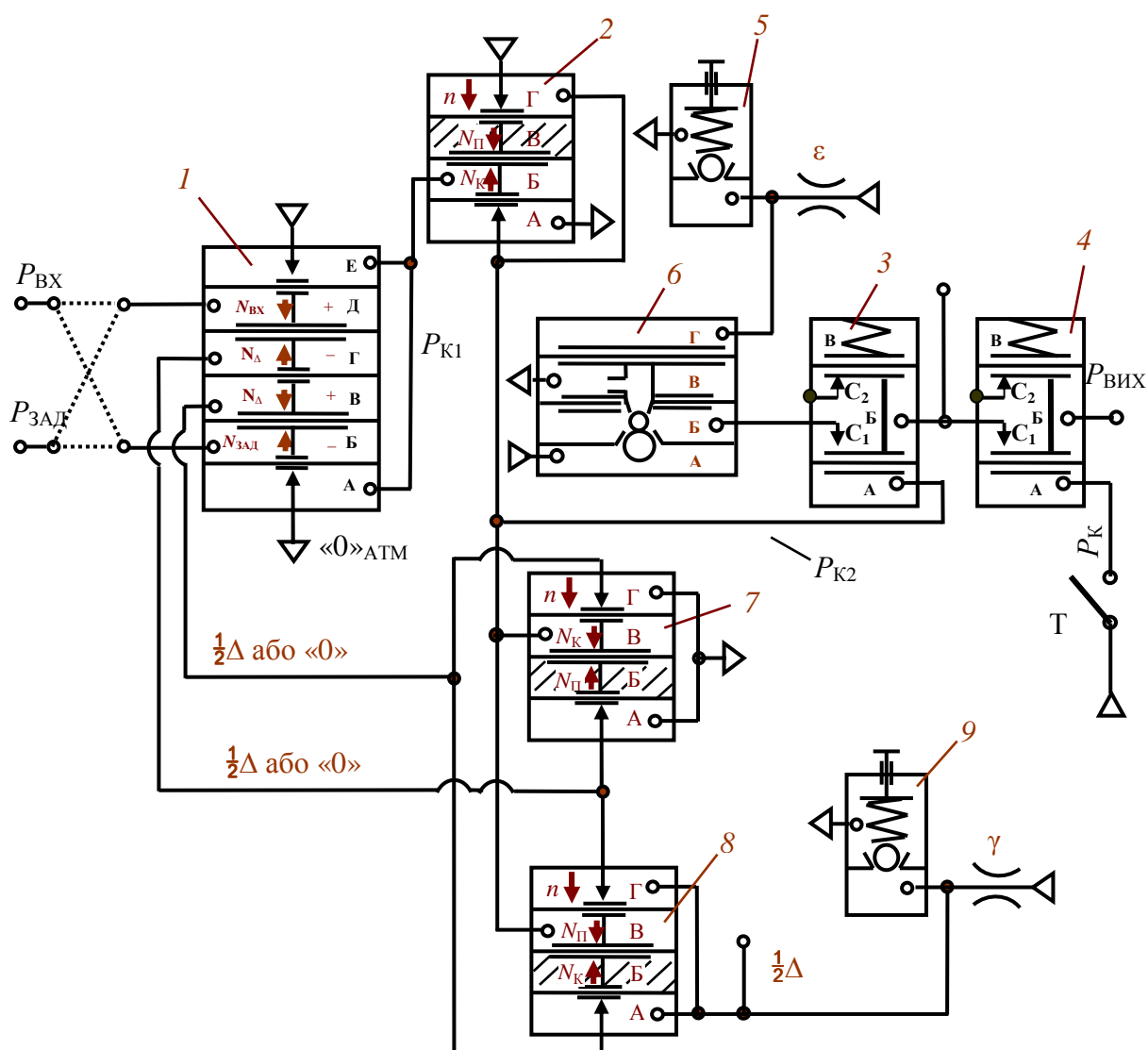


Рис. 111. Схема позиційного (релейного) регулятора РР 1.6 з зоною повернення, яка настрюється (яка регулюється)

верхні сопла в камерах Г закриваються, а нижні в камерах А – відкриваються і сигнал половини ширини зони повернення $\frac{1}{2}\Delta$ потрапить замість камери Г елемента порівняння 1 в камеру В цього елемента. А камера Г сполучиться з атмосферою. Треба відмітити, що сигнал $P_{K1} = \text{«1»}$ перетворюється за логічним значенням на тримембранному реле 2 у сигнал $P_{K2} = \text{«0»}$. Цей сигнал відкриває також реле відключення 3 і на виході буде $P_{\text{Вих}} = \text{«1»}$, якщо

$P_{\text{Вх}} \geq (P_{\text{Зад}} + \frac{1}{2}\Delta)$ і $P_{\text{Вих}} = \text{«0»}$, якщо $P_{\text{Вх}} < (P_{\text{Зад}} - \frac{1}{2}\Delta)$. При налаштуванні приладу на «мінімум» схема працює зворотним чином. Ширина зони повернення Δ налаштовується здавачем 9. Ця зона може мати ширину $(0,1 \dots 0,8)$ кгс/см² і повинна змінюватись в стандартному діапазоні пневматичного аналогового сигналу $(0,2 \dots 1,0)$ кгс/см². Вихідна регулювальна характеристика регулятора ПР1.6, який налаштовано на «максимум», приведена на рис. 112.

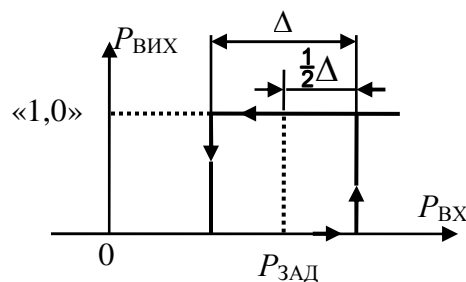


Рис. 112. Вихідна регулювальна характеристика регулятора ПР1.6, який налаштовано на «максимум» (*max*)

8.8. Пневматичні пропорційно-інтегральні регулятори з лінійною статичною характеристикою

Крім розглянутих вище регуляторів в системі «СТАРТ» існує ще ряд регуляторів з лінійною статичною характеристикою. Це по перше пропорційно-інтегральні регулятори ПР3.31 та ПР3.32. Другий відрізняється

від першого тільки тим, що в нього є вбудований задавач сигналу завдання. Дія їх базується також на принципі компенсації сил, при якому переміщення чутливих елементів близькі до нуля. Внаслідок цього регулятори мають високу чутливість. Схема цих регуляторів показана на рис. 113.

Пропорційна складова в цьому регуляторі створюється за рахунок дії на від'ємний зворотній зв'язок, інтегральна складова – за рахунок дії на додатний зворотний зв'язок. Кожний із цих зв'язків вносить свою складову в регулюючий сигнал регулятора. Ступінь впливу цих складових настроюють за допомогою відповідних регулювальних дроселів межі пропорційності та часу інтегрування.

Лінійність статичної характеристики досягається за рахунок введення двох підсумовувачів в прямий канал та в лінію зворотного зв'язку операційного підсилювача (елемента порівняння) П2ЕС.1.

Регулятори складаються з п'ятимембранного елемента порівняння П2ЕС.3 (поз. 3), операційного підсилювача П2ЕС.1(поз. 1), точного потужного повторювача П2П.7 (поз. 5), реле відключення П-1108 (поз. 6, 7), точного малопотужного повторювача П2П.1 (поз. 8), пневматичної ємності ПОЕ – 50 (поз. 9), регулювальних дроселів α_1 , α_2 , ϵ , постійних дроселів β_1 , β_2 , ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 . Нерегульований опір (дросель) ПД₁ вбудовано в підсилювач потужності (поз. 5), а капіляр опору ПД₂ запаяно у вхідний канал цього ж елемента. Нерегульований опір (дросель) ПД₃ (0,18 × 7 мм), який також виготовлено у вигляді капіляру, вставлено в канал зворотного зв'язку елемента порівняння (поз. 3). Регулятор ПР3.32 додатково оснащено кульковим задавачем тиску завдання П-1099 (поз. 2). Всі елементи регуляторів монтуються на платі із органічного скла за допомогою гвинтів та з'єднувальних ніжок, які, в свою чергу, закривають з іншого боку заглушками. Зв'язок між камерами елементів здійснюється за допомогою профрезерованих каналів в платі та самих елементах.

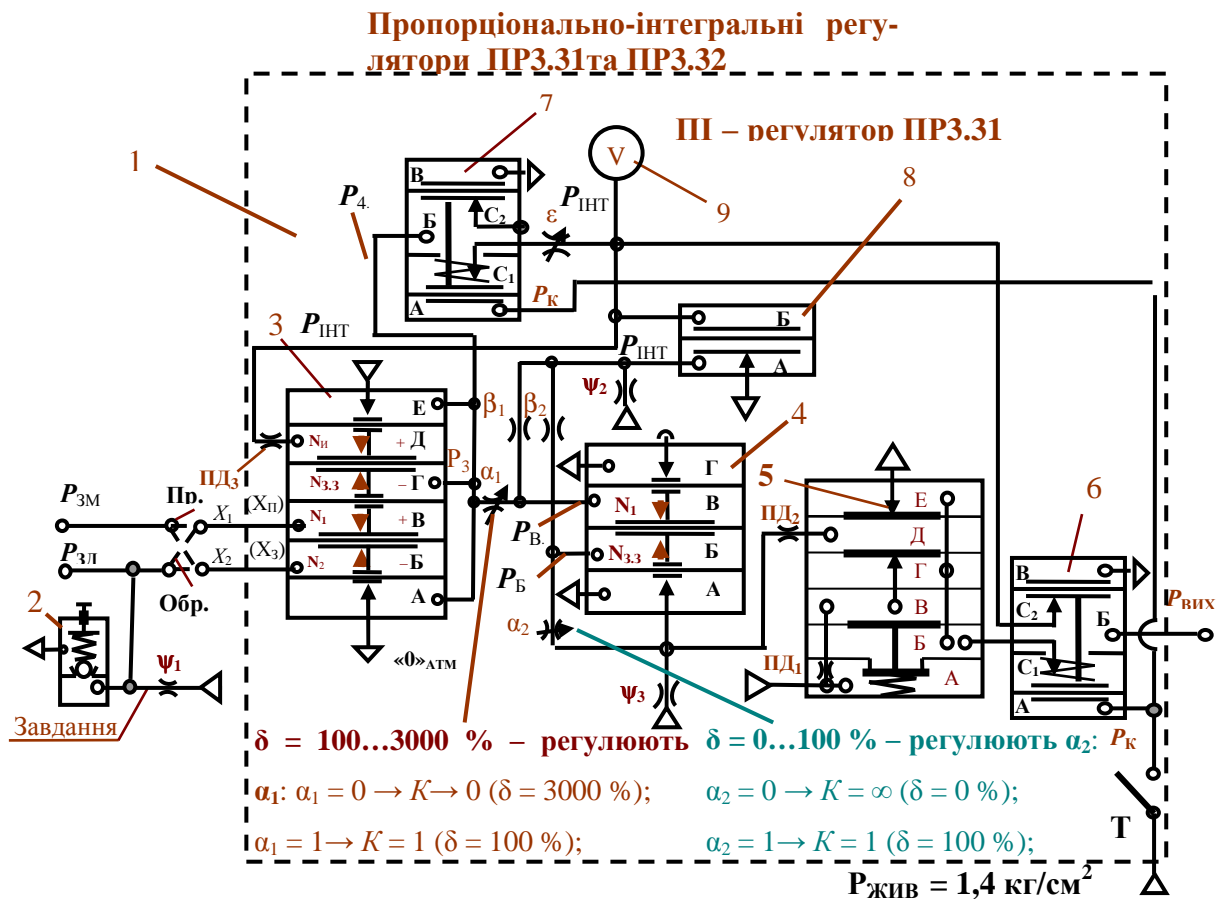


Рис. 113. Структурна схема регуляторів ПР3.31 та ПР3.32: 1 – ПІ-регулятор; 2 – вбудований в регулятор ПР3.32 кульковий задавач сигналу завдання П-1099; 3 – елемент порівняння П2ЕС.3; 4 – елемент порівняння П2ЕС.1; 5 – точний потужний повторювач П2П.7; 6, 7 – реле відключення П – 1108; 8 – малопотужний точний повторювач сигналу П2П.1; 9 – пневматична ємність ПОЕ-50

Конструктивною особливістю регуляторів ПР3.31 та ПР3.32 є наявність двох органів настроювання межі пропорційності в діапазоні від 2 до 3000 %, що значно покращують плавність настроювання.

Наприклад, при настроюванні межі пропорційності від 100 до 3000 % (тобто $K \leq 1$), дросель α_2 ставлять на відмітку 100 %, що відповідає повному відкриттю цього дроселя. При цьому коефіцієнт підсумовувача в лінії зворотного зв'язку буде дорівнювати 1. Далі завдання потрібного коефіцієнта ведуть за допомогою дроселя α_1 .

Якщо ж потрібно проводити настроювання в межах 2...100 % (тобто $K \geq 1$), то на відмітку 100 % ставлять дросель α_1 , що відповідає його повному відкриттю та створенню коефіцієнта передачі в прямому каналі підсумовувача значенням 1, і регулювання коефіцієнта передачі регулятора ведуть за допомогою дроселя α_2 .

Розглянемо роботу регулятора для випадку межі пропорційності δ від 100 до 3000 % (тобто $K \leq 1$). В цьому випадку сигнал на виході елемента порівняння 3 буде складатися із трьох частин:

$$P_3 = P_{\text{ІНТ}} + P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}.$$

Згідно до рівняння дросельного підсумовуюча тиск в камері В три-мембранного елемента порівняння 4 буде визначатись за формулою:

$$P_B = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \beta_1} P_3 + \frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1} P_{\text{ІНТ}},$$

Якщо позначити:

$$K_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \beta_1},$$

то останню формулу можна записати у наступному вигляді:

$$P_B = K_1 P_3 + (1 - K_1) P_{\text{ІНТ}}.$$

Враховуючи, що $P_3 = P_{\text{ІНТ}} + P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}$ останню формулу можна записати так:

$$P_B = K_1 (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) + P_{\text{ІНТ}}.$$

Стан рівноваги мембранного блока елемента 4 (П2ЕС.1) буде тоді, коли $N_1 = N_{3,3}$, тобто, коли $P_B = P_Б$. Так як уданому випадку дросель α_2 повністю відкрито, то $P_B = P_{\text{ВИХ}}$. Таким чином,

$$P_{\text{ВИХ}} = K_1 (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) + P_{\text{ІНТ}}.$$

Як відомо, інтегральна складова T_I визначається наступним чином:

$$P_{\text{ІНТ}} = \frac{1}{T_I} \int_0^t (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) dt.$$

Таким чином, остаточно маємо:

$$P_{\text{ВИХ}} = K_1(P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) + \frac{1}{T_I} \int_0^t (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) dt$$

Вихідний сигнал після елемента порівняння 4 підсилюється на підсилювачі потужності 5 і далі йде через реле відключення 6 безпосередньо на вихід регулятора. Процес настроювання коефіцієнта передачі регулятора ведуть дроселем α_1 .

Для випадку межі пропорційності δ від 2 до 100 % (тобто $K \geq 1$), як уже було вище сказано, дросель α_1 повністю відкривають. Тому тиск $P_{\text{В}}$ в камері В елемента порівняння 4 буде визначатись залежністю:

$$P_{\text{В}} = P_{\text{ІНТ}} + P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}.$$

Умова рівноваги для мембранного блока елемента порівняння 4 буде та сама:

$$P_{\text{В}} = P_{\text{Б}},$$

але залежність між тиском $P_{\text{В}}$ та вихідним тиском $P_{\text{ВИХ}}$ буде наступна:

$$P_{\text{Б}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_2 + \beta_2} P_{\text{ВИХ}} + \frac{\beta_2}{\alpha_2 + \beta_2} P_{\text{ІНТ}}.$$

Якщо підставити в цю формулу значення $P_{\text{Б}} = P_{\text{В}} = P_{\text{ІНТ}} + P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}$ і позначити $K_2 = (\alpha_2 + \beta_2)/\alpha_2$ та провести відповідні перетворення, то отримаємо:

$$P_{\text{ВИХ}} = K_2(P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) + P_{\text{ІНТ}},$$

$$P_{\text{ВИХ}} = K_2(P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) + \frac{1}{T_I} \int_0^t (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) dt.$$

Як бачимо, структура формули та сама, але в цьому випадку, як впливає із позначення коефіцієнта K_2 , коефіцієнт $K \geq 1$. Далі настроювання

межі пропорційності δ (тобто, коефіцієнта K) ведуть за допомогою дроселя α_2 .

Відмінною конструктивною особливістю регуляторів ПР3.31 та ПР3.32 від регулятора ПР3.21 є те, що вони мають два органи настроювання межі пропорційності в діапазоні від 2 до 3000 %, що значно підвищує плавність настроювання.

Межа допустимої основної похибки регулятора складає ± 2 %.

Основна похибка визначається, як найбільше значення вхідного сигналу, виражене у відсотках його нормуючого значення 80 кПа (0,8 кгс/см²) при сталому значенні вхідного сигналу.

Нелінійність статичних характеристик, виражена у відсотках нормуючого значення вхідного сигналу, не перевищує ± 1 % для межі пропорційності 100 % і $\pm 3,0$ % для всіх значень межі пропорційності на відмітках шкал від 2 % до 3000 % (за винятком 100 %).

Настроювання сталої інтегрування T_I ведуть за допомогою дроселя ϵ . Коли дросель (опір) ϵ закрито, час інтегрування досягає максимального значення і регулятор, таким чином, перетворюється в пропорційний. Мінімальний час інтегрування (максимальний вплив інтегральної складової) буде при повністю відкритому дроселі ϵ .

При роботі регулятора в автоматичному режимі тиск керування (командний сигнал) реле відключення 6 та 7 дорівнює нулю, тобто $P_K = 0$. В цьому випадку сопло C_1 реле 6 відкрито і вихідний сигнал підсилювача потужності 5 безпосередньо йде на вихід регулятора. Сопло C_1 реле 7 також відкрито і в ємності 9 створюється сигнал інтегральної складової $P_{\text{ІНТ}}$, який далі йде в камеру Д додатного зворотного зв'язку елемента порівняння 3.

При подачі командного сигналу $P_K = \text{«1»}$ мембранний блок реле 6 підіймається вгору, роз'єднуючи вихід підсилювача потужності 5 з вихідною лінією та створюючи з'єднання цієї лінії з ємністю 9 інтегральної лан-

ки, в яку буде заходити тиск сигналу положення виконавчого механізму, створений за допомогою зовнішнього задавача в режимі ручного керування виконавчим механізмом. Цей же тиск буде заходити в камеру додатного зворотного зв'язку Д елемента порівняння 3. Крім того, при $P_K = \ll 1 \gg$ за допомогою мембранного блоку реле 7 перекривається лінія інерційного додатного зворотного зв'язку через опір ϵ . Це дозволяє запобігти виникненню скачка тиску в лінії виконавчого механізму в проміжному положенні перемикача (на станції керування), готуючи плавний перехід на автоматичне регулювання. Опір ПДЗ, який вбудовано в елемент порівняння 3, слугує для гасіння можливих автоколивань в камері Д. Вихідна характеристика регуляторів аналогічна до характеристики регулятора ПР3.21 (див. рисунки 94 та 114).

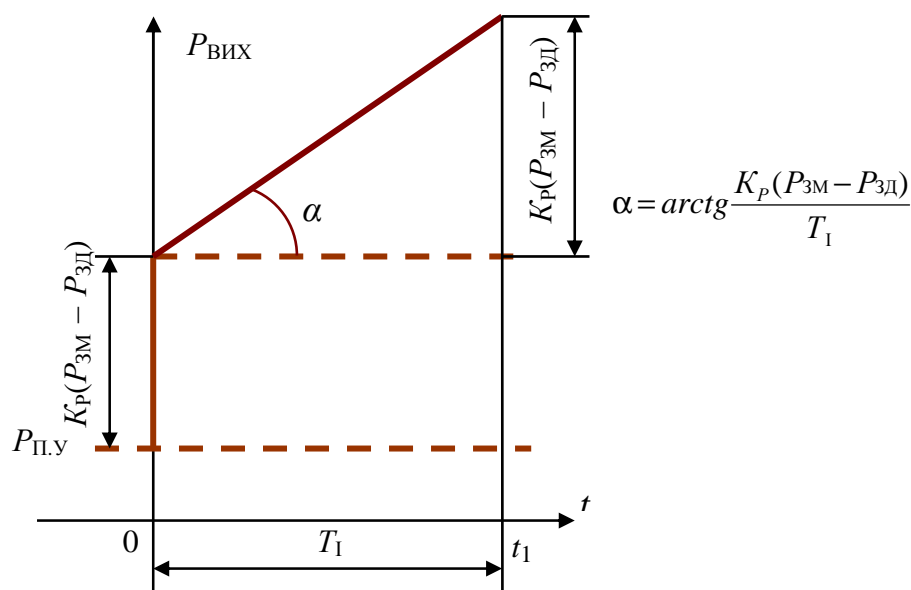


Рис. 114. Характеристика зміни вихідного сигналу пропорційно-інтегральних регуляторів ПР3.31 та ПР3.32

8.9. Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор з лінійною статичною характеристикою ПР3.35

В системі регуляторів «СТАРТ» є також ПД- регулятор, який має лінійну статичну характеристику, схема якого показана на рис. 115. Цей регулятор складається з двох п'ятимембранних елементів порівняння 1 і 2 системи «УСЕППА» П2ЕС.3, тримембранного елемента порівняння 3 типу П2ЕС.1, точного підсилювача потужності 4 (П2П.7), малопотужного точного повторювача 5 (П2П.1), двох дросельних підсумовувачів в прямому каналі (два α_1 та β_1) та в лінії зворотного зв'язку (два α_2 та β_2) елемента 1, ємностей 6 і 7 та ємності 8 з сильфоном для усунення можливих високочастотних коливань, регулювальних дроселів ϵ та γ , трьох реле відключення 9, 10 та 11, постійних дроселів ПД₁,...,ПД₆, дисків-перемикачів П1 та П2, за допомогою яких регулятор настроюють на пряме та зворотне регулювання. Дросель ПД₃ вбудовано в підсилювач 4, а капіляр дроселя ПД₂ впаяно у вхідний канал цього ж елемента. Дросель ПД₆ виготовлено також у вигляді капіляру, який вставлено в канал зворотного зв'язку елемента 2.

Пропорційна ланка регулятора ПР3.35 аналогічна до ланки, яку має регулятор ПР2.8. На вході цієї ланки стоїть елемент порівняння 1 та два дросельних суматори $\alpha_1 - \beta_1 - \alpha_1$ та $\alpha_2 - \beta_2 - \alpha_2$. На їх входи поступають сигнал змінної з її похідною $P_{\text{ДМ}} = P_{\text{ЗМ}} + T_{\text{П}}(dP_{\text{ЗМ}}/dt)$, який створюється за допомогою диференційної ланки на елементі порівняння 3, дроселі γ та ємностях 7 та 8, сигнал завдання $P_{\text{ЗД}}$, сигнал інтегральної складової

$$P_{\text{ІНТ}} = \frac{1}{T_{\text{І}}} \int_0^t (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) dt \quad \text{та сигнал зворотного зв'язку елемента 1 } P_{\text{ВІХ}}.$$

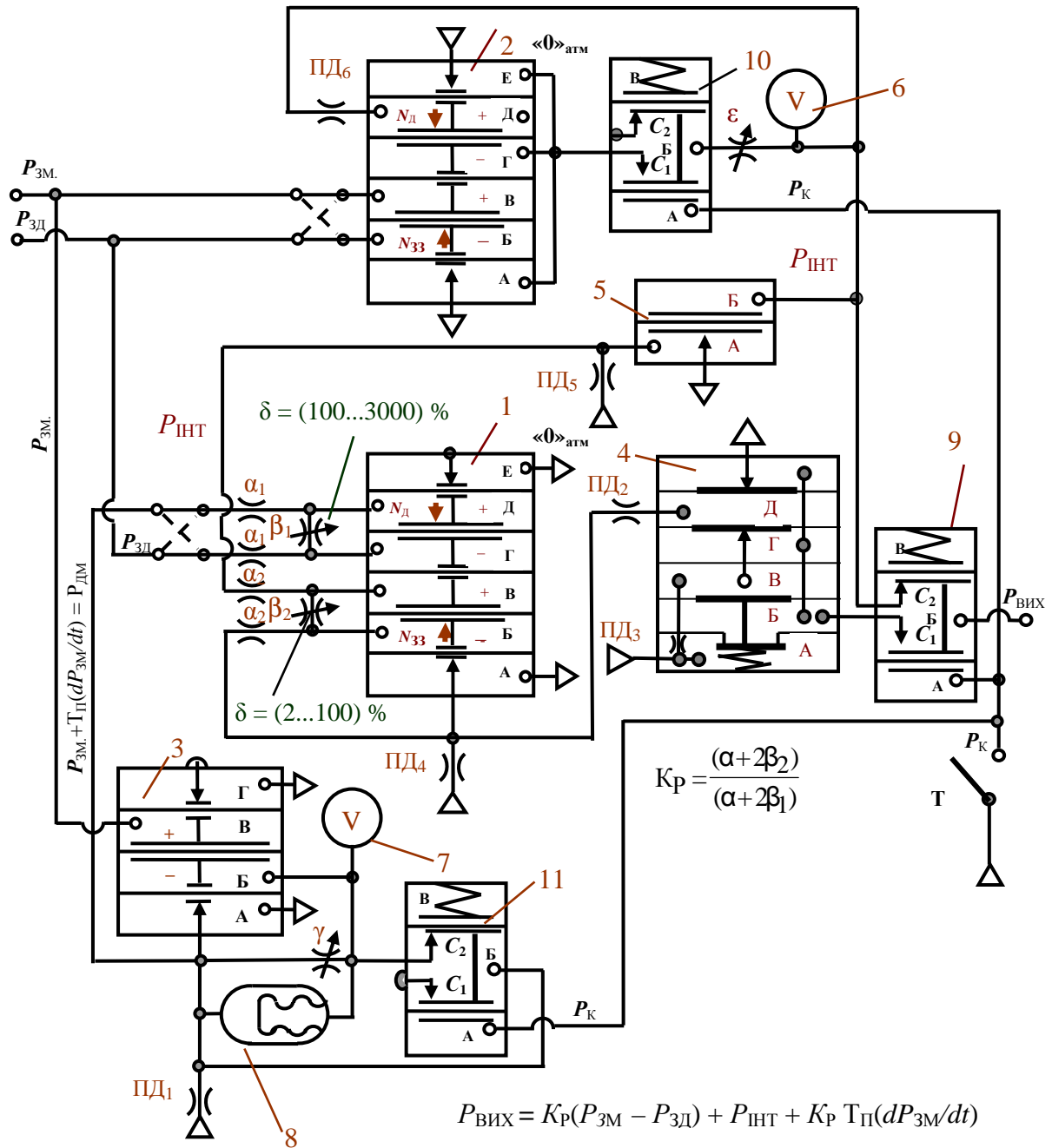


Рис. 115. Схема пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора з лінійними статичними характеристиками ПР 3.35

Стан рівноваги мембранного блоку елемента порівняння 1 можна записати, як

$$P_B = P_D - P_\Gamma + P_B.$$

Коефіцієнт передачі K_P пропорційної ланки регулятора у загальному вигляді визначається, як (див. розділ 5.6, рис. 66)

$$K_P = \frac{(\alpha_2 + 2\beta_2)\alpha_1}{(\alpha_1 + 2\beta_1)\alpha_2}. \quad (153)$$

Якщо $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, то формула для K_P спрощується:

$$K_P = \frac{(\alpha + 2\beta_2)}{(\alpha + 2\beta_1)}. \quad (154)$$

Для цього регулятора загальна межа пропорційності знаходиться в межах від 2 до 3000 %. Але, завдяки двом органам настроювання цієї межі дроселів $\alpha_1 - \beta_1 - \alpha_1$ та $\alpha_2 - \beta_2 - \alpha_2$ її для зручності та більш плавного настроювання розбивають на два інтервали: $\delta = 2 \dots 100$ % (тобто $K \geq 1$) та $\delta = 100 \dots 3000$ % ($K \leq 1$).

Якщо процес регулювання ведуть в межах $\delta = 100 \dots 3000$ %, то дросель β_2 повністю закривають (тобто його провідність $\beta_2 = 0$) і коефіцієнт регулюють дроселем β_1 . В цьому випадку тиски в камерах елемента порівняння 1 P_B , P_V , P_Γ і P_D будуть мати наступні значення: $P_B = P_{\text{вих}}$, $P_V = P_{\text{інт}}$,

$$P_\Gamma = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \beta_1} P_{3Д} + \frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1} P_D, \quad P_D = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \beta_1} P_{ДМ} + \frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1} P_\Gamma.$$

Якщо підставити ці значення в формулу для стану рівноваги мембранного блоку елемента 1 та вирішити отримане рівняння відносно $P_{\text{вих}}$, то отримаємо наступне рівняння:

$$P_{\text{вих}} = K_P(P_{ДМ} - P_{3Д}) + P_{\text{інт}},$$

де $K_P = \alpha_1 / (\alpha_1 + 2\beta_1)$ – коефіцієнт передачі регулятора. Його значення задають обертанням дроселя β_1 . Якщо дросель β_1 повністю закрито ($\beta_1 = 0$), то $K_P = 1$ і $\delta = 100$ %. Якщо ж дросель β_1 повністю відкрито (тобто $\beta_1 = 1$ і $\beta_1 \gg \alpha_1$), то $K_P \rightarrow 0$ і $\delta \rightarrow \infty$.

Для випадку, коли $\delta = 2 \dots 100$ %, закривають повністю дросель β_1 , установлюючи його на відмітку 100 %, а регулювання коефіцієнта K_P ве-

дуть за допомогою дроселя β_2 . В цьому разі значення $P_{\text{Б}}$, $P_{\text{В}}$, $P_{\text{Г}}$, і $P_{\text{Д}}$ будуть наступні:

$$P_{\text{Б}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_2 + \beta_2} P_{\text{ВИХ}} + \frac{\beta_2}{\alpha_2 + \beta_2} P_{\text{В}}, \quad P_{\text{В}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_2 + \beta_2} P_{\text{ИНТ}} + \frac{\beta_2}{\alpha_2 + \beta_2} P_{\text{Б}},$$

$$P_{\text{Г}} = P_{\text{ЗД}}, \quad P_{\text{Д}} = P_{\text{ДМ}}.$$

Підставивши ці значення в рівняння мембранного блока елемента 1, отримаємо таке саме рівняння, як і раніше, але коефіцієнт передачі регулятора буде визначатись, як

$$K_{\text{Р}} = \alpha_2 / (\alpha_2 + 2\beta_2).$$

В цьому випадку межі регулювання будуть наступні. Якщо дросель β_2 повністю закрити, тобто $\beta_2 = 0$, то $K_{\text{Р}} = 1$ і $\delta = 100\%$. Якщо ж β_2 повністю відкрити, тобто $\beta_2 = 1$, то $K_{\text{Р}} \rightarrow \infty$ і $\delta \rightarrow 0\%$.

Такі самі значення коефіцієнта $K_{\text{Р}}$ можна отримати із формули (153), якщо підставити відповідні значення провідності для дроселів β_1 та β_2 .

$$\text{Враховуючи, що } P_{\text{ИНТ}} = \frac{1}{T_{\text{І}}} \int_0^t (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) dt \text{ та } P_{\text{ДМ}} = P_{\text{ЗМ}} + T_{\text{П}} (dP_{\text{ЗМ}}/dt),$$

отримаємо кінцеву формулу для вихідного сигналу регулятора:

$$P_{\text{ВИХ}} = K_{\text{Р}} (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) + \frac{1}{T_{\text{І}}} \int_0^t (P_{\text{ЗМ}} - P_{\text{ЗД}}) dt + K_{\text{Р}} T_{\text{П}} \frac{dP_{\text{ЗМ}}}{dt}.$$

Реле відключення 9, 10 та 11 функціонують аналогічно до реле відключення 5, 6 та 8 регулятора ПР3.25 (див. розділ 8.3, сторінка 123, рис. 95). Вихідна характеристика також має аналогічний вигляд (див. рис. 116).

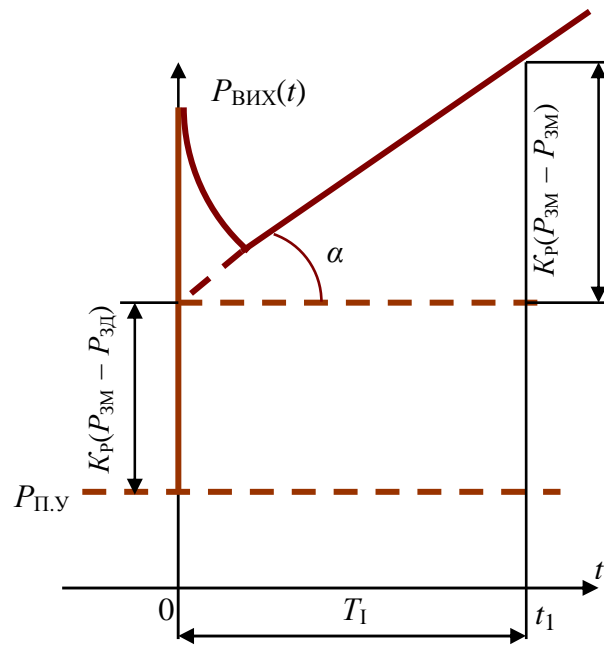


Рис. 116. Вид зміни вихідного сигналу пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора ПР 3.35

9. РОБОТА ПРИСТРОЇВ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ ЗА ПРИНЦИПОМ КОМПЕНСАЦІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ

9.1. Робота регулятора, що працює за принципом компенсації переміщення

В приладах серії КСЗ використовуються регулятори, які працюють за принципом компенсації зміщень [6]. Схема такого регулятора наведена на рис. 117.

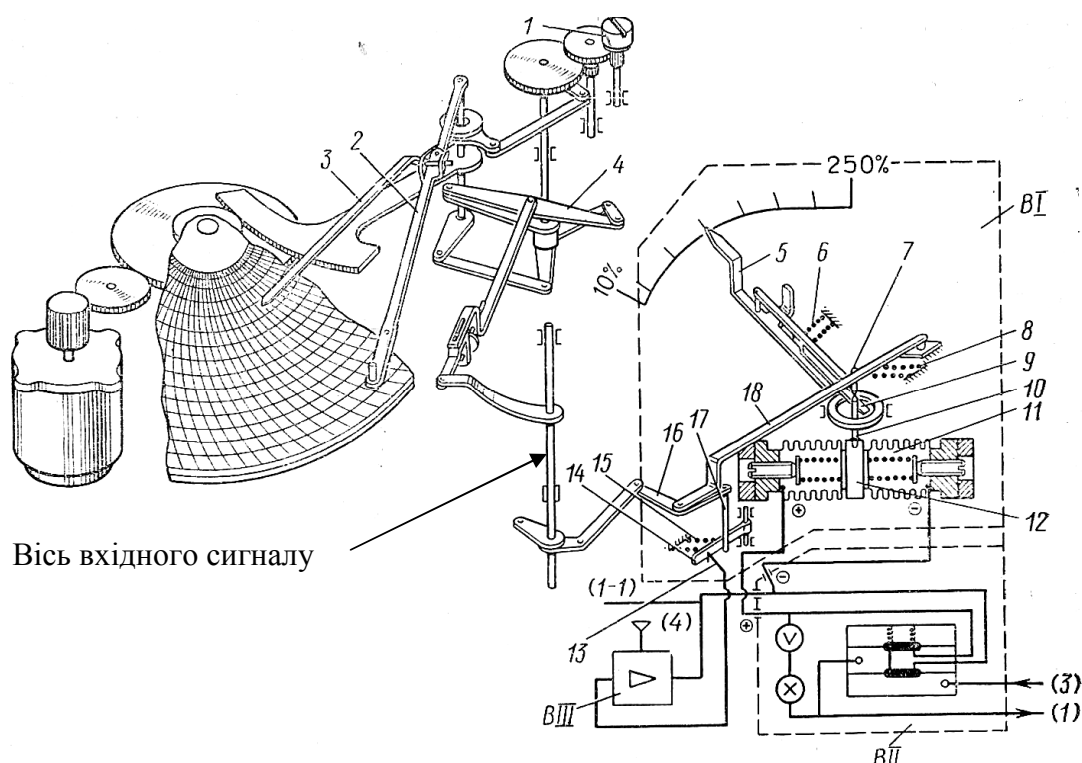


Рис. 117. Схема регулятора, який працює за принципом компенсації зміщень: (1) і (1 – 1) – вихід регулятора; (3) – реле перемикачів; (4) – живлення; B/I – блок регулюючий; B/І – блок інтегруючий; B/ІІ – блок підсилення пневматичний

Значення регулюємого параметра задається ручкою (1) «ЗАВДАННЯ», яка знаходиться на лицьовій панелі приладу і при обертанні якої відбувається зміщення покажчика завдання (3) відносно діаграми.

Якщо значення регулюємого параметра відповідає сигналу завдання (в цьому випадку положення пера 2 і показчика 3 співпадають), то регулюючий тиск на виході регулятора відповідає нормальному протіканню процесу. Але якщо виникає якесь розузгодження, то положення середньої точки коромисла 4 змінюється і це приводить до зміни вихідного сигналу регулятора. Вхідний сигнал на регулятор подається за допомогою зміщення вільного кінця (зв'язаного з віссю обертання) кутового важеля 16 блоку регулювання.

Регулятор може здійснювати як П, так і ПІ закони регулювання. Якщо здійснюється тільки П – закон регулювання, то регулятор працює наступним чином.

При зміні вхідного сигналу на блок регулювання кутовий важіль 16 обертається навколо осі вхідного сигналу і штифт 17 відходить від заслінки 14. Під дією пружини 15 заслінка наближається до сопла 13 і затуляє його отвір. При цьому на вході і виході блока підсилення пневматичного *VIII* зростає тиск, який далі поступає в сильфон від'ємного зворотного зв'язку 11, внаслідок чого перетинка 12 зміщується і штифт 10, ковзаючи вздовж поверхні важеля 9, обертає його під дією пружини 6.

При обертанні важеля 9 штифт 7 відходить від поверхні важеля 18 і цей важіль під дією пружини 8 обертається за часовою стрілкою і зміщує кутовий важіль 16 в напрямку, який є протилежний тому, при якому відбулося зміщення штифта 17 при подачі вхідного сигналу. Штифт 17 наближується до заслінки і відводить її від сопла на відстань, яка відповідає вихідному тиску (тобто тиску в сильфоні від'ємного зворотного зв'язку).

Коефіцієнт пропорційності регулятора настроюють обертанням важеля 5 навколо осі, яка проходить через штифти 7 та 10.

Величина межі пропорційності (дивись формулу (131)) визначається у відсотках від всього поля діаграми (тобто, який процент зміщення показчика завдання від всього поля діаграми викличе максимальний вихідний сигнал на виході регулятора). Наприклад, якщо межа пропорційності $\delta = 10 \%$, то це означає, що 1 % зміщення пера показчика завдання викличе 10 % зміни вихідного сигналу від його максимального значення, а якщо зміщення дорівнює 10 % – то це викличе 100 % зміни вихідного сигналу регулятора від його максимального значення.

І навпаки, якщо $\delta = 250 \%$, то це означає, що 1 % зміщення пера показчика завдання викличе 0,25 % зміни вихідного сигналу від його максимального значення, а якщо зміщення 10 % – то це викличе 2,5 % зміни вихідного сигналу від його максимального значення.

Якщо регулятор працює, як ПІ – регулятор, то інтегральна складова створюється за допомогою блока інтегруючого *B//*, який складається з аперіодичної ланки першого порядку (див. рис. 79) та сильфона додатного зворотного зв'язку.

9.2. Робота позиціонера, що працює за принципом компенсації переміщення

Як уже відмічалось, в хімічній та інших галузях промисловості (дивись рис. 26) широко застосовуються мембранні виконавчі механізми. Вони прості та надійні в експлуатації, мають досить просту будову і не вибагливі в обслуговуванні. Але, якщо їх використовувати в чистому вигляді, то вони мають досить високий гістерезис, низьку чутливість та невисоку швидкість роботи. Тому, для підвищення їх чутливості, швидкодії, збільшення перестановочного зусилля та зменшення гістерезису в роботі мембранних виконавчих механізмах застосовуються позиціонери (позиційні

реле), які необхідні при роботі в умовах брудних та в'язких середовищ, при високому тиску цих середовищ та при значних відстанях між регулятором та виконавчим механізмом. За своїми властивостями вони подібні до диференціально-пропорціональних підсилювачів або регуляторів. Існує два різновиди позиціонерів: позиціонери, які працюють за принципом компенсації переміщення та позиціонери, які працюють за принципом компенсації сил.

Схема підключення позиціонера, який працює за принципом компенсації переміщення, показана на рис. 118.

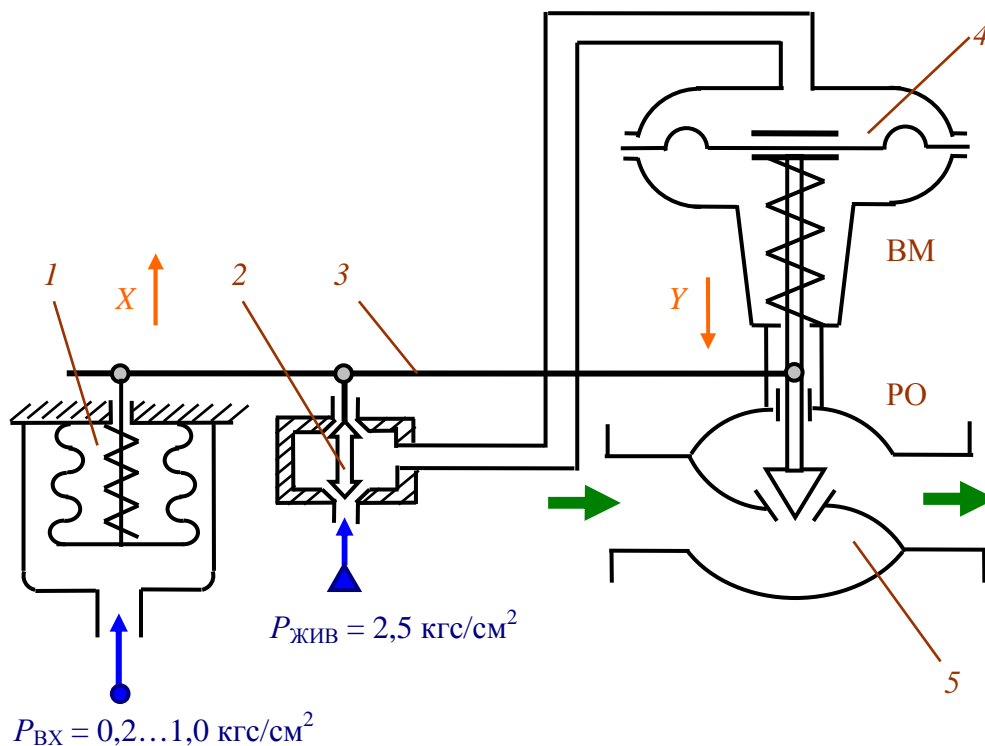


Рис. 118. Конструктивна схема позиціонера, який працює за принципом компенсації переміщення

Цей позиціонер працює наступним чином. При подачі вхідного сигналу регулятора $P_{ВХ} = 0,2 \dots 1,0 \text{ кгс/см}^2$ (тобто, в стандартному діапазоні) на сильфонний перетворювач 1 сильфон стискається і підіймає вгору кінець важеля (кінематичного елемента) 3 вгору. Важіль 3 обертається навколо

осі обертання, яка знаходиться на штоку виконавчого механізму. При цьому двох-сідельний клапан підіймається вгору, закриваючи отвір скидання повітря в атмосферу і повністю відкриває отвір силового тиску

$P_{\text{жив}} = 2,5 \text{ кгс/см}^2$. Силовий тиск швидко заповнює камеру керування виконавчого механізму 4, чим значно покращується якість регулювання, та створює поштовх тиску (немов удар) на мембрану мембранного виконавчого механізму. Це потрібно для того, щоб зрушити з мертвої точки залипнувший або заіржавілий регулюючий орган 5, який приєднано до виконавчого механізму. Крім того, сили тертя спокою значно більші від сил тертя ковзання. Мембрана мембранного механізму починає опускатися до низу і разом з нею опускається до низу права вісь обертання важеля 3. При цьому двох-сідельний клапан 2 також опускається до низу, прикриваючи отвір живлення та відкриваючи отвір скидання в атмосферу. При подальшому русі цього клапана приплив тиску живлення буде зменшуватись, а скидання в атмосферу буде збільшуватись. Рано чи пізно наступить ситуація, при якій скільки повітря (або газу) зайшло в камеру двох-сідельного клапана, стільки ж і скинулось в атмосферу. В цьому випадку тиск в середині камери двох-сідельного клапана (в камері золотника) перестав змінюватись. Разом з цим перестав змінюватись і тиск в камері керування мембранного виконавчого механізму і рух всієї системи зупиняється в положенні, пропорційному сигналу регулятора, який прийшов на вхід сильфонного перетворювача 1, але на виконавчому механізмі буде створено значно більше пересувне зусилля за рахунок того, що сигнал регулятора підсилюється за рахунок силового тиску $P_{\text{жив}} = 2,5 \text{ кгс/см}^2$, що приходить на сопло живлення двох-сідельного клапана 2. Таким чином цей позиціонер вирішує дві задачі: створює поштовх зрушення та створює більше пересувне зусилля. Крім того, треба відмітити, що при роботі цього опозиціонера

переміщення одного кінця важеля X компенсується переміщенням другого кінця важеля Y .

9.2. Робота позиціонера, який працює за принципом компенсації сил

Цей позиціонер вирішує ті самі задачі, але працює дещо інакше. Конструкція цього позиціонера приведена на рис. 119.

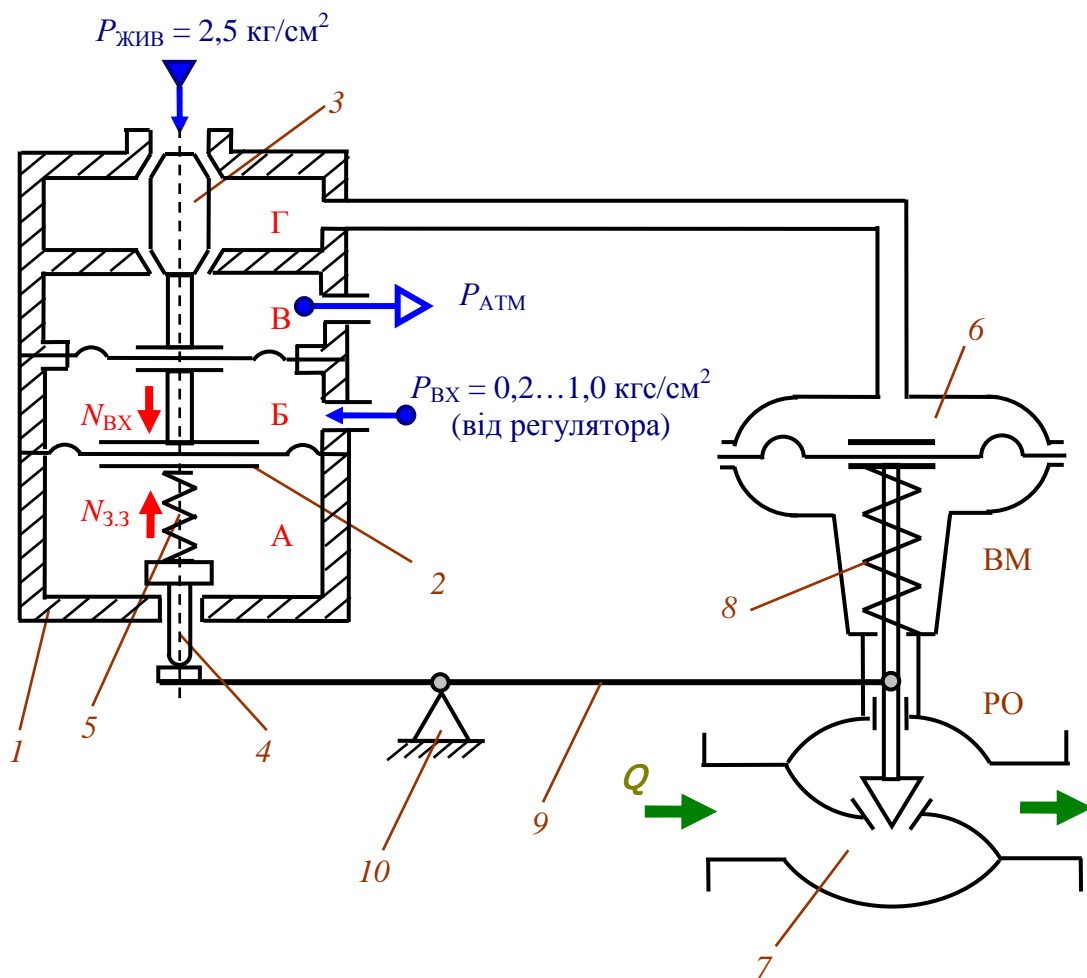


Рис. 119. Конструктивна схема позиціонера, який працює за принципом компенсації сил

При подачі в камеру Б корпусу 1 сигналу регулятора $P_{ВХ}$, який має значення в діапазоні $0,2 \dots 1,0 \text{ кгс/см}^2$ і який може змінюватись навіть незначно, створюється вхідна сила $N_{ВХ}$, спрямована до низу, так як внаслідок конструктивного виконання площа нижньої мембрани в камері Б більша площі верхньої мембрани. Ця сила заставляє мембранний блок 2 позиціонера опуститись до низу. При цьому опуститься до низу і двох-сідельний клапан 3, який знаходиться в камері Г. Верхнє сопло живлення, яке розташоване в цій камері, повністю відкриється, а нижнє сопло – повністю закриється. Через камеру Г піде потужний імпульс повітря величиною $P_{жив} = 2,5 \text{ кгс/см}^2$, який швидко заповнить камеру керування мембранного виконавчого механізму, чим значно поліпшить якість керування і створить імпульс зрушення залипнутого або заіржавілого регулюючого органа. Крім того, слід ще раз нагадати, що сили тертя спокою більші за сили тертя ковзання. Після цього мембрана мембранного механізму 6 почне рухатись вниз і важіль 9, який прикріплено одним кінцем до штока регулюючого органа, почне обертатись навколо фіксованої опори 10 (треба відмітити, що у випадку позиціонера, який працює за принципом компенсації переміщення, опори обертання є плаваючими). Другий кінець цього важеля буде підіймати шток зворотного зв'язку позиціонера 4. Це шток буде стискати пружину зворотного зв'язку 5 позиціонера, яка розташована в камері А корпусу 1. Ця пружина буде створювати зусилля зворотного зв'язку $N_{З.З.}$. Чим нижче буде опускатись мембрана мембранного механізму 6, тим більше буде стискатись пружина зворотного зв'язку позиціонера 5. Треба зауважити, що сила, яка створюється на мембрані мембранного механізму, урівноважується силою стискання пружини зворотного зв'язку 8 мембранного механізму. Тобто одночасно стискаються дві пружини: пружина мембранного виконавчого механізму та пружина позиціонера. Коли пружина позиціонера стиснеться до зусилля, яке буде дорівнювати силі, створеній

сигналом регулятора в камері Б, тобто коли наступить момент компенсації сил $N_{ВХ} = N_{ЗЗ}$, мембранний блок позиціонера почне рухатись вгору. Тобто, тільки з цього моменту почнеться одночасний (синхронний) рух двох мембран: мембрана мембранного механізму буде продовжувати рухатись вниз, а мембрана позиціонера буде рухатись вгору. Разом з мембраною позиціонера буде рухатись вгору і двох-сідельний клапан. При цьому сопло силового живлення в камері Г буде прикриватись, а сопло, яке сполучає камеру Г з камерою В і далі з атмосферою, буде відкриватись. Потік силового тиску в камеру Г і в камеру керування виконавчого механізму буде зменшуватись, а потік скидання в атмосферу, навпаки, буде збільшуватись. Рано, чи пізно, наступить ситуація, при якій скільки прийшло повітря в камеру Г, стільки і скинулося в атмосферу. наступить момент рівноваги витрат і тиск в камері Г та камері керування виконавчого механізму перестане змінюватись. Вся система зупиниться в стійкому положенні, яке буде пропорційне сигналу регулятора, але на мембрані виконавчого механізму буде створене значно більше пересувне зусилля за рахунок силового тиску $P_{ЖИВ} = 2,5 \text{ кгс/см}^2$.

Таким чином, при роботі цього позиціонера також вирішуються дві задачі: створюється імпульс (момент) зрушення і створюється більше пересувне зусилля за рахунок силового тиску.

10. ЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ, ПОБУДОВАНІ НА ПНЕВМАТИЧНИХ РЕЛЕ СИСТЕМИ «УСЕППА»

В оглядовій главі (див. рис. 14...20) вже було розглянуто роботу пневматичного реле П1Р.1 системи УСЕППА та основних логічних операцій «ТАК», «НІ» («НЕ ТАК»), «І» та «АБО» алгебри Джорджа Буля. За допомогою цих операцій створюються наступні логічні операції, які широко використовуються при вирішенні логічних та обчислювальних задач.

10.1. Операції «ІМПЛІКАЦІЯ» та «ЗАБОРОНА» або «ЗВОРОТ-НА ІМПЛІКАЦІЯ»

Однією із важливих операцій є так звана «ІМПЛІКАЦІЯ», або, як ще вона зветься «ЯКЩО – ТО». При виконанні цієї операції сигнал P_1 дозволяє пропустити на вихід сигнал P_2 , який може бути як «0», так і «1». При відсутності сигналу P_1 на виході тримається сигнал високого рівня $P_{\text{ВИХ}} = P_{\text{ЖИВ}} = 1,4 \text{ кгс/см}^2$. Схема цієї операції наведена на рис. 120.

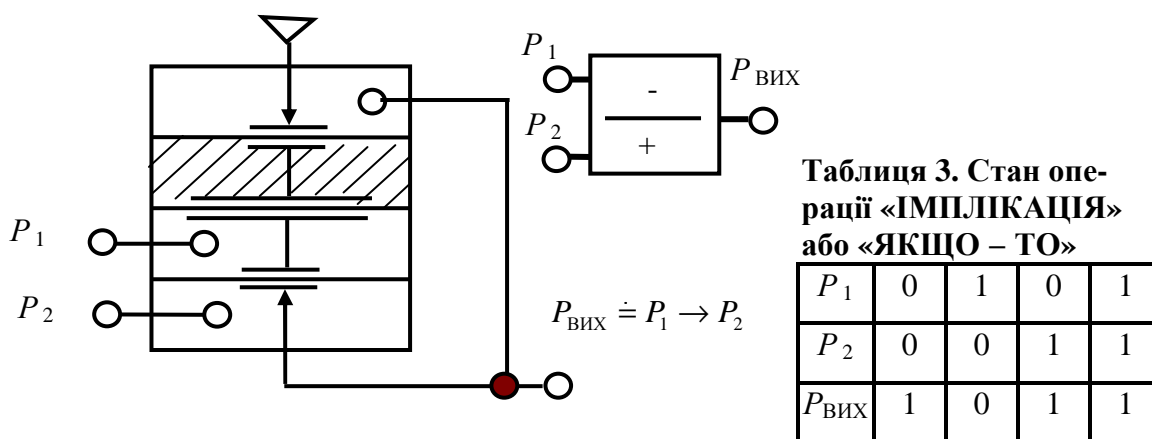
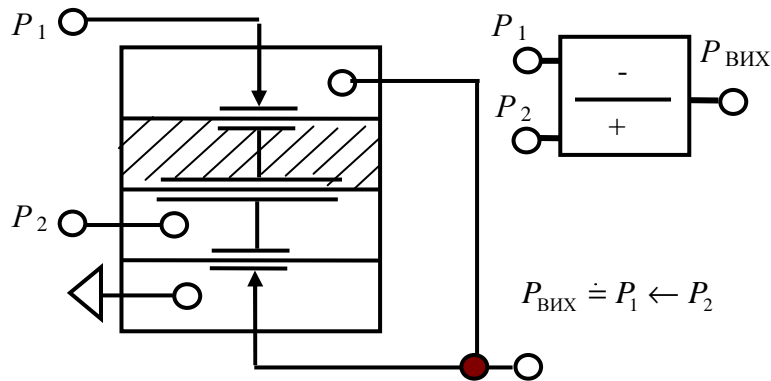


Рис. 120. Операція «ІМПЛІКАЦІЯ» або «ЯКЩО – ТО»

Зворотною операцією до операції «ІМПЛІКАЦІЯ» є операція «ЗАБОРОНИ» або «ЗВОРОТНА ІМПЛІКАЦІЯ». Схема цієї операції наведена на рис. 121.



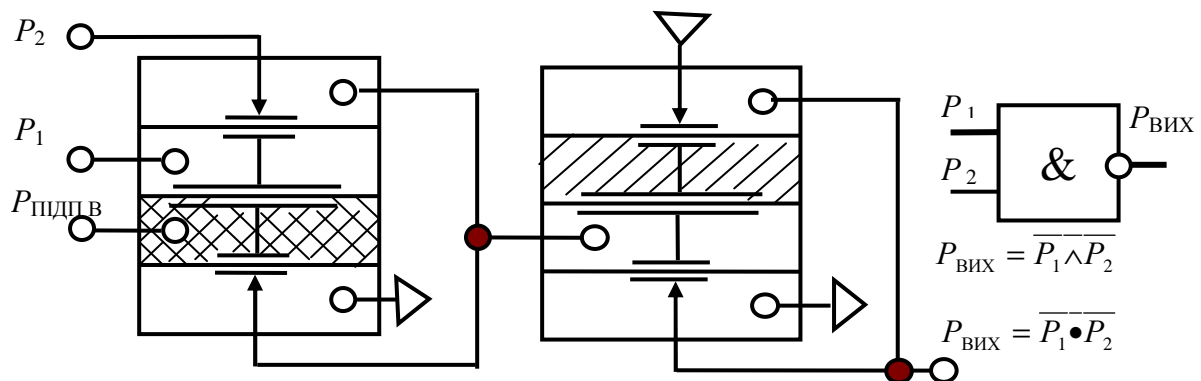
Таблиця 4. Стан операції «ЗАБОРОНА» або «ЗВОРОТНА ІМПЛІКАЦІЯ»

P_1	0	1	0	1
P_2	0	0	1	1
$P_{\text{вих}}$	0	1	0	0

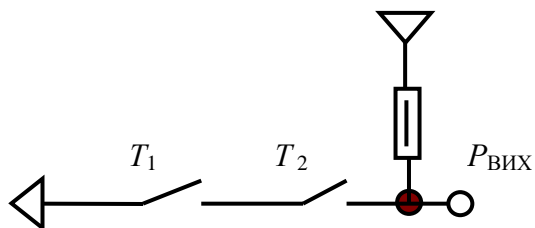
Рис. 121. Операція «ЗАБОРОНА» або «ЗВОРОТНА ІМПЛІКАЦІЯ»

10. 2. Операції «ШТРИХ ШЕФФЕРА» та «СТРІЛКА ПІРСА»

Схеми цих операцій наведені на рис. 122 та 123.



Операція «2І - НІ» на перемикачах

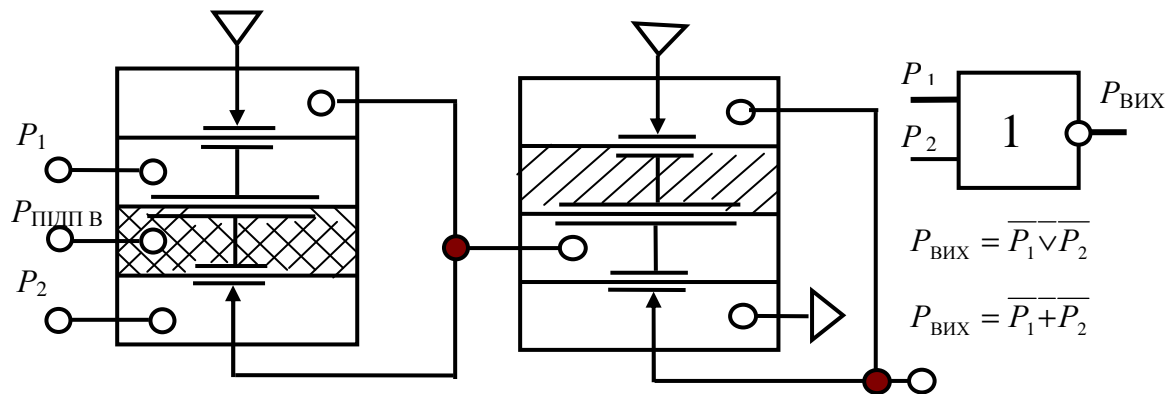


Таблиця 5. Стан операції «2І - НІ» або «ШТРИХ ШЕФФЕРА» («ЗАПЕРЕЧЕННЯ КОН'ЮНКЦІЇ»)

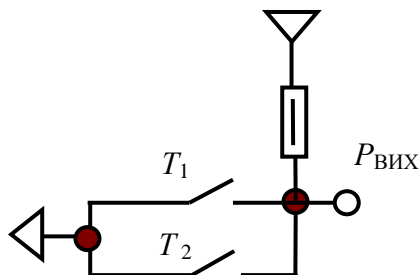
P_1	0	1	0	1
P_2	0	0	1	1
$P_{\text{вих}}$	1	1	1	0

Рис. 122. Операція «ШТРИХ ШЕФФЕРА» або «2І - НІ» («ЗАПЕРЕЧЕННЯ КОН'ЮНКЦІЇ»)

Якщо до виходу операції «І» та до виходу операції «АБО» приєднати операцію «НІ», тобто «ІНВЕРСІЮ», то можна отримати операції «Штрих Шеффера» («ЗАПЕРЕЧЕННЯ КОН'ЮНКЦІЇ») та «СТРІЛКА ПІРСА» («ЗАПЕРЕЧЕННЯ ДИЗ'ЮНКЦІЇ»).



Операція «2АБО -НІ» на перемикачах



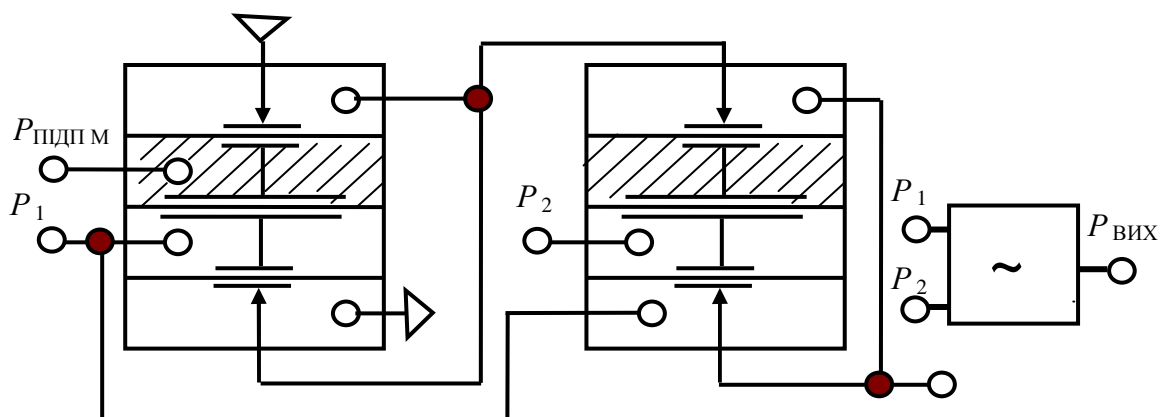
Таблиця 6. Стан операції «2І - АБО» або «СТРІЛКА ПІРСА» («ЗАПЕРЕЧЕННЯ ДИЗ'ЮНКЦІЇ»)

P_1	0	1	0	1
P_2	0	0	1	1
$P_{\text{вих}}$	1	0	0	0

Рис. 123. Операція «2АБО -НІ» або «СТРІЛКА ПІРСА» («ЗАПЕРЕЧЕННЯ ДИЗ'ЮНКЦІЇ»)

10. 3. Операція порівняння

При виконанні багатьох обчислювальних операцій дуже часто виникає потреба в порівнянні двох чисел або інших величин. Цю операцію можна здійснити за допомогою схеми порівняння або, як вона інакше зветься, схеми рівності двох сигналів («СХЕМА ЗБІГАННЯ» , «СХЕМА РІВНОЇ ЗНАЧИМОСТІ»), яка наведена на рис. 124. Ця схема складається з операції «ІНВЕРСІЯ» та операції «І», або із операції «ІНВЕРСІЯ» та операції «ЗАБОРОНА».



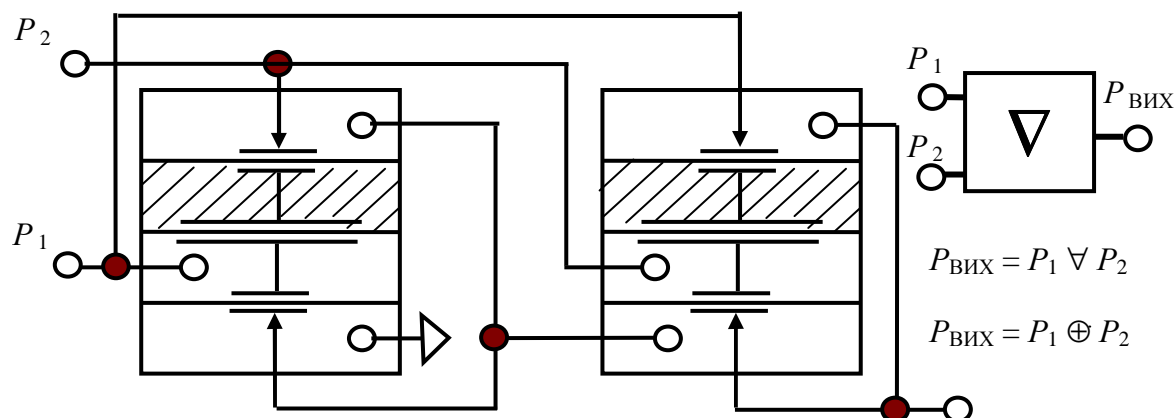
Таблиця 7. Стан операції «ЗБІГАННЯ» або «РІВНОЇ ЗНАЧИМОСТІ»

P_1	0	1	0	1
P_2	0	0	1	1
$P_{ВИХ}$	1	0	0	1

Рис. 124. Операція «ЗБІГАННЯ» або «РІВНОЇ ЗНАЧИМОСТІ»

10. 4. Операція «ВИНЯТОК АБО»

Наступна операція є особливо важлива при побудові різних арифметико-логічних пристроїв, при підсумовуванні двійкових кодів, при підрахуванні так званої «контрольної суми» при побудові схем автоматизації. Як відомо, при передачі інформаційного сигналу по каналу зв'язку (наприклад, RS – 485 інтерфейсу) передача закінчується підрахуванням контрольної суми для запобігання неправильного (хибного) спрацьовування. Це операція – «ВИНЯТОК АБО», або, як вона ще зветься, «ПІДСУМОВУВАННЯ ЗА МОДУЛЕМ 2», «СХЕМА ЗБІГАННЯ З ІНВЕРСНИМ ВИХОДОМ», «ЗАПЕРЕЧЕННЯ РІВНОЇ ЗНАЧИМОСТІ». Вона будується на двох схемах «ЗАБОРОНИ» і показана на рис. 125.



Таблиця 8. Стан операції «ВИНЯТОК АБО» або «ПІДСУМУВАННЯ ЗА МОДУЛЕМ 2», «СХЕМА ЗБІГАННЯ З ІНВЕРСНИМ ВИХОДОМ», «ЗАПЕРЕЧЕННЯ РІВНОЇ ЗНАЧИМОСТІ»

P_1	0	1	0	1
P_2	0	0	1	1
$P_{\text{вих}}$	0	1	1	0

Рис. 125. Операція «ВИНЯТОК АБО» або «ПІДСУМОВУВАННЯ ЗА МОДУЛЕМ 2», «СХЕМА ЗБІГАННЯ З ІНВЕРСНИМ ВИХОДОМ», «ЗАПЕРЕЧЕННЯ РІВНОЇ ЗНАЧИМОСТІ», «ВИКЛЮЧЕННЯ АБО»

Приведемо приклад використання цієї операції для підрахування суми двох двійкових чисел.

10. 5. Двійкові числа та знаходження їх суми

Спочатку приведемо таблиці відповідності між десятковими, двійковими та двійково-десятковими числами. Ці числа частіше від усього використовуються при роботі арифметико-логічних та інших пристроїв цифрових обчислювальних машин та цифрових приладів. Треба відмітити, що використовуються також і інші коди (наприклад, код Грея, код 2 із 6, шістнадцятирічний код), які розглядаються в спеціальній літературі.

Таблиця 9. Відповідність між десятковими, двійковими та двійково-десятковими кодами

«10»	«2»	«2/10»
0	0000	0000 0000
1	<u>0001</u>	0000 0001
2	<u>0010</u>	0000 0010
3	0011	0000 0011
4	<u>0100</u>	0000 0100
5	0101	0000 0101
6	0110	0000 0110
7	0111	0000 0111
8	<u>1000</u>	0000 1000
9	1001	0000 1001
10	1010	0001 0000
11	1011	0001 0001
12	1100	0001 0010
13	1101	0001 0011
14	1110	0001 0100
15	1111	0001 0101
16	<u>10000</u>	0001 0110

Підкресленими в таблиці є так звані вагові розряди, комбінація яких дозволяє отриматилюбє число. Наприклад:

$$27 = 16 + 8 + 2 + 1,$$

$$\text{або } 27 = 2^4 + 2^3 + 2^1 + 2^0.$$

Двійково-десятковий код дуже зручний при зворотному перетворенні двійкових чисел у звичайні десяткові, так як кожна його тетрада відповідає десятковому знаку.

При підсумовуванні двійкових чисел поступають аналогічно десятковим:

$$\begin{array}{r} 5 \\ + \\ \hline 7 \\ 12 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 0101 \\ + \\ \hline 0111 \\ 1100. \end{array}$$

При відніманні замінюють операцію віднімання операцією додавання доповнення до повного розряду другого числа (нулі замінюють на одиниці, а одиниці – на нулі) з додатковим додаванням одиниці заєму:

$$\begin{array}{r} 13 \\ - \\ \hline 5 \\ 8 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1101 \\ - \\ \hline 0101 \\ 1000 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1101 \\ + \\ 1010 \\ + \\ \hline 0001 \\ 1000 \end{array}$$

При перетворенні десяткового числа у двійкове це число послідовно ділять на «2» до того часу, поки частка від ділення не стане дорівнювати «1». Далі записують отриману частку і одиниці та нулі остатків у зворотному напрямку. Отриманий запис двійкового числа і є аналогом десяткового. Наприклад:

$$\begin{array}{r} 67 \underline{)2} \\ - \underline{66} \quad 33 \underline{)2} \\ \quad 1 \quad \underline{32} \quad 16 \underline{)2} \\ \qquad 1 \quad \underline{16} \quad 8 \underline{)2} \\ \qquad \quad 0 \quad \underline{8} \quad 4 \underline{)2} \\ \qquad \qquad 0 \quad \underline{4} \quad 2 \underline{)2} \\ \qquad \qquad \quad 0 \quad \underline{2} \quad 1 \\ \qquad \qquad \qquad 0 \end{array} \qquad \begin{array}{l} 67 = 1000011 \\ 67 = 2^6 + 2^1 + 2^0 \end{array}$$

Покажемо, як можна підсумовувати два двійкових числа з використанням операції «ВИКЛЮЧЕННЯ АБО».

Наприклад, треба підсумовувати числа типу:

$$a_1a_0 + b_1b_0 = c_2c_1c_0.$$

Для цього треба побудувати підсумовуючий пристрій, який буде складатись з напівсуматора, повного суматора та операції «АБО». Його схема показана на рис. 126.

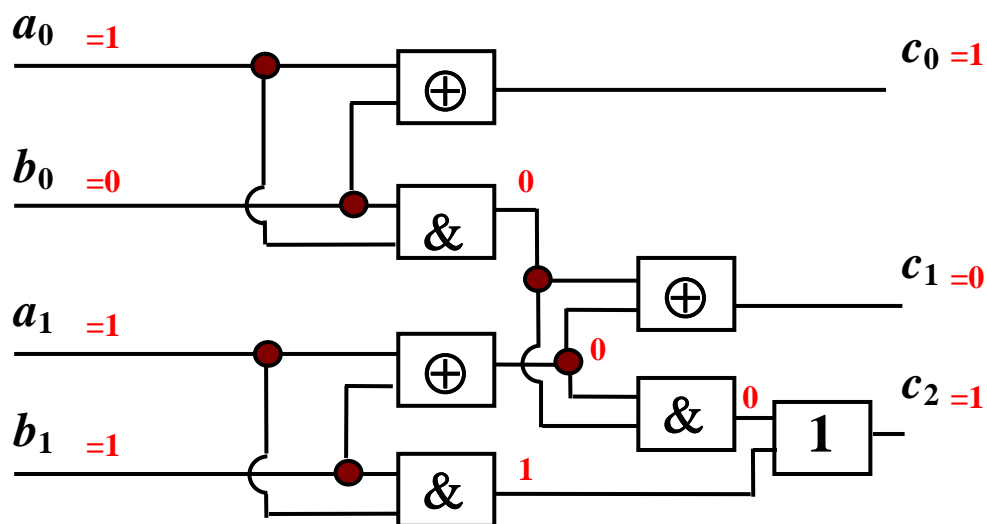


Рис. 126. Схема повного суматора

На схемі приведено приклад підсумовування двох двійкових чисел $11_2 + 10_2 = 101_2$, тобто $3 + 2 = 5$.

11. ПНЕВМАТИЧНІ ГЕНЕРАТОРИ, ПОБУДОВАНІ НА ЕЛЕМЕНТАХ СИСТЕМИ «УСЕППА», ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

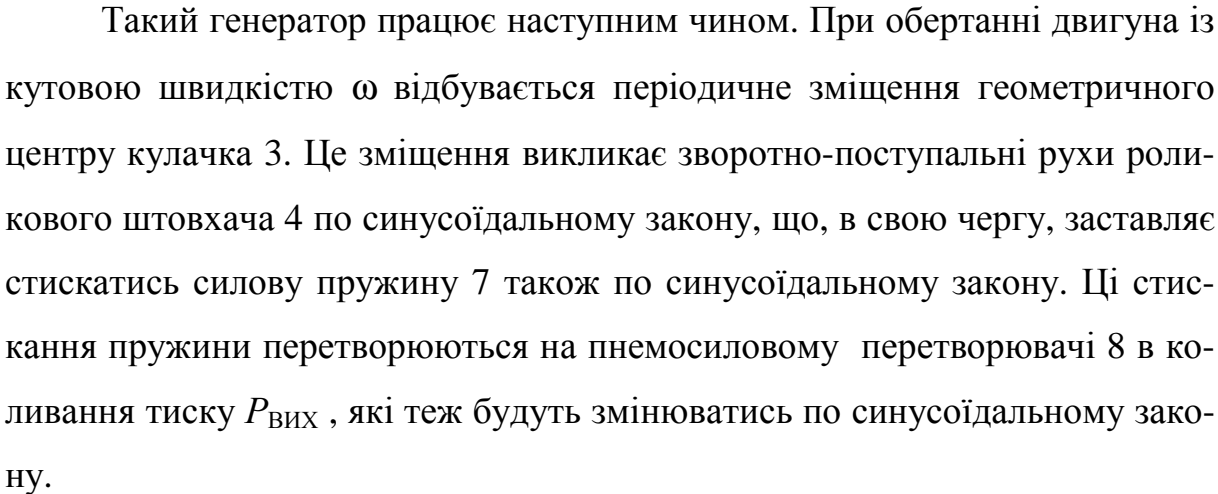
Пристрій, на виході якого формуються незатухаючі коливання періодичної форми, називається генератором. Як правило ці коливання створюються за допомогою додаткового джерела живлення. Частіше від усього використовуються генератори синусоїдальних, прямокутних, трапецоїдних, трикутних, релаксаційних, імпульсних та пилоподібних коливань. Можуть бути створені генератори і іншої форми, наприклад, при створенні програмного задавача.

Прикладом створення генератора синусоїдальних коливань може бути генератор, створений за допомогою електродвигуна (або пневматичного двигуна) редуктора, кулачкового пристрою та пневмосилового перетворювача).

11.1. Електромеханічні генератори

Схема електромеханічного генератора, здатного створювати синусоїдальні коливання, наведена на рис. 127.

Такий генератор складається з електродвигуна 1, редуктора 2, спрофільованого кулачка 3, роликового штовхача 4, пружини зворотного зв'язку 5, опори 6, силової пружини 7 та пневмосилового перетворювача 8 (див. рис. 2).



Якщо змінити профіль кулачка 3, то можна створити програмний задавач з програмою у відповідності до профілю кулачка (див. рис. 128).

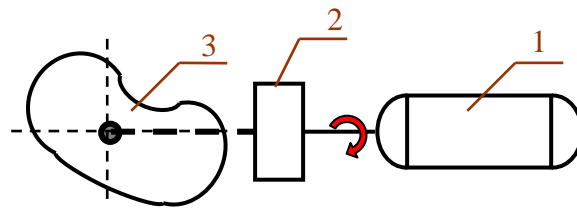


Рис. 128. Кулачковий програмний задавач: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – кулачок

Частота коливань тиску, яку можна отримати за допомогою промислових генераторів такого типу, лежить в межах $1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-4}$ Гц. Але при певному підборі параметрів редуктора та пневмосилового перетворювача можна досягнути меж коливань $0,5 \dots 1$ Гц.

Зведена похибка приведених вище програмних часових задавачів складає $\pm 1,5\%$. Зміна тиску на їх виході лежить в межах $0,02 \dots 1,0$ МПа.

Для отримання синусоїдальних коливань використовують також електропневматичний генератор з нахиленим диском (рис. 129).

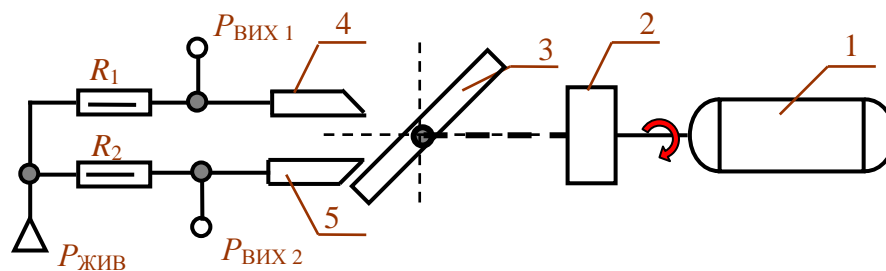


Рис. 129. Електропневматичний генератор з нахиленим диском: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – нахилений диск; 4 і 5 – сопла каналів

Працює цей генератор наступним чином. Нахилений диск 3, який обертається за допомогою двигуна 1 та редуктора 2, по чергову наближа-

ється або віддається від сопел каналів 4 та 5. Оскільки подача тиску живлення $P_{\text{жив}}$ в сопла цих каналів обмежена пневматичними опорами R_1 та R_2 , то на виходах $P_{\text{вих 1}}$ і $P_{\text{вих 2}}$ буде формуватись періодичний сигнал з періодом, який буде залежить від періоду коливань нахиленого диску 3, тобто з періодом, який буде змінюватись по синусоїдальному закону. Зсув фази коливань на виходах $P_{\text{вих 1}}$ і $P_{\text{вих 2}}$ буде складати 180° , частоту коливань за допомогою редуктора можна регулювати в межах від декількох герц до декількох кілогерц.

Для отримання імпульсних коливань низького тиску від низької до високої частоти (від герц до декількох кілогерц) використовують генератор з обтюратором та перетворювачем сопло – екран – сопло (рис. 130).

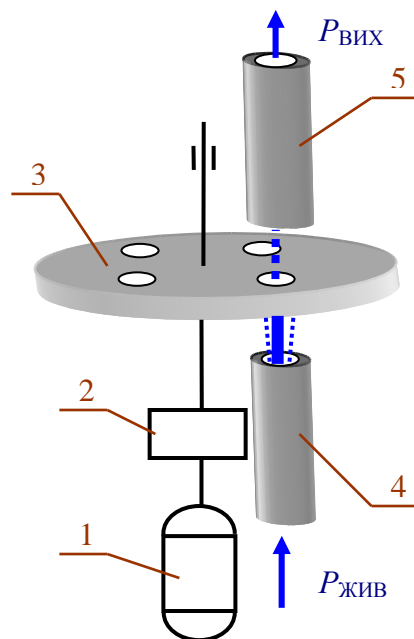


Рис. 130. Генератор з обтюратором та перетворювачем сопло – екран – сопло : 1 – двигун; 2 – редуктор; 3 – диск з отворами; 4 – сопло живлення; 5 – сопло вихідного сигналу

У такого генератора за допомогою двигуна 1 та редуктора 2 диск обтюратора 3 приводиться в обертальний рух. При подачі тиску живлення $P_{\text{жив}}$ на виході сопла живлення 4 створюється струмінь повітря, який пере-

сікається отворами обтюратора 3 у відповідності до кількості цих отворів. Перерваний струмінь потрапляє у приймальне сопло 5, де формується послідовність імпульсів вихідного тиску $P_{\text{вих}}$. Частоту отриманих імпульсів можна регулювати за допомогою редуктора або кількості отворів на диску обтюратора. Крім того, якщо забезпечити цей пристрій не однією парою сопло – екран – сопло, а декількома у відповідності до вагових розрядів двійкового коду (див. табл. 15), то можна створити генератор двійкових чисел в залежності від кута повороту диска та розташування отворів.

11.2. Робота пневматичного генератора, побудованого на реле П1Р.1

Такий генератор складається з пневматичного реле П1Р.1 (дивись рис. 14 та 15), пневматичного дроселя α (дивись рис. 53) та пневматичної ємності V (наприклад, ПОЕ.50 системи УСЕППА). Схема такого генератора наведена на рис. 131.

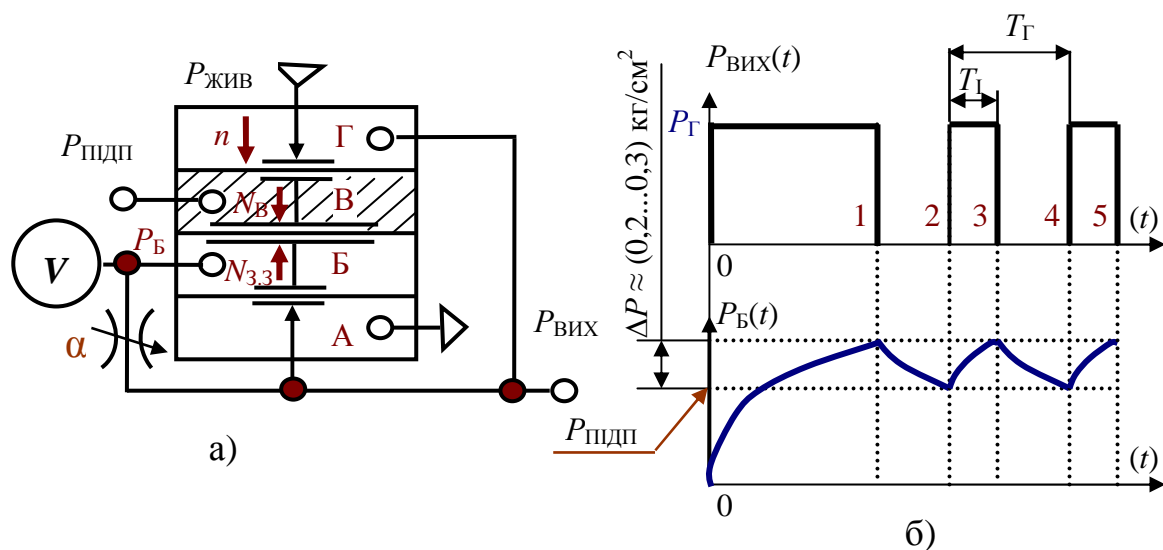


Рис.131. Схема пневматичного генератора на реле П1Р.1 системи УСЕППА:
а) – принципова схема; б) – часова діаграма формування тисків на виході генератора $P_{\text{вих}}$ та у камері зворотного зв'язку $P_{\text{б}}$

Працює цей генератор наступним чином. При подачі тиску живлення $P_{\text{жизн}}$ мембранний блок пневматичного реле П1Р.1, підключення якого здійснюється за так званою релейною схемою, під дією тиску підпора $P_{\text{пдп}}$ почне

опускатись до низу. При цьому, в наслідок того, що в камеру Г почне поступати тиск живлення $P_{\text{жив}}$, в цій камері почне з'являтися сила додатного зворотного зв'язку n , спрямована до низу. Під дією цієї сили мембранний блок почне з прискоренням рухатись до низу і надійно затулить нижнє сопло та відкриє верхнє. На виході генератора сформується високий рівень вихідного сигналу $P_{\text{вих}} = P_{\text{Г}}$. Цей вихідний сигнал почне поступати через дросель α в ємність V та камеру від'ємного зворотного зв'язку Б по експоненціальному закону, створюючи силу зворотного зв'язку $N_{3.3}$. Залежність, по якій змінюється тиск в камері Б в першому такті, має вигляд:

$$P_{\text{Б}}(t) = P_{\text{В}}(t) = P_{\text{Г}}(1 - e^{-\frac{1}{T}t}) \quad (155)$$

Коли тиск в камері Б досягне значення, при якому створена їм сила зворотного зв'язку $N_{3.3}$ порівняється з сумою сил, створеною тиском підпору $P_{\text{підп}}$ в камері В $N_{\text{В}}$ і силою додатного зворотного зв'язку n , тобто коли наступить момент компенсації сил $N_{3.3} = N_{\text{В}} + n$, мембранний блок почне рухатись вгору. Величина значення тиску, на яку при цьому тиск $P_{\text{Б}}$ в камері Б має перевищувати тиск $P_{\text{В}}$ в камері В є величина для конкретного реле стала і за літературними даними лежить в межах $\Delta P = 0,2 \dots 0,3$ кгс/см². ΔP – це такий тиск, при заведенні якого в додатну камеру В буде створюватись сила $N_{\text{В}}$, еквівалентна силі n , що виникає від дії тиску живлення $P_{\text{жив}}$ на малий мембранний центр в камері Г.

При русі в гору мембранного центру сила додатного зворотного зв'язку n почне зникати внаслідок того, що вихідна лінія генератора почне сполучатись з атмосферою через нижнє сопло постійно сполученої з атмосферою камери А, при цьому сопло в камері А буде відкриватись, а сопло в камері Г – закриватись. Це приведе до того, що мембранний блок буде рухатись вгору з прискоренням. Виникне ефект дії додатного зворотного зв'язку вгору. Верхнє сопло в камері Г надійно закриється, а нижнє сопло

в камері А, навпаки, надійно відкриється. Тиск на виході генератора P_{Γ} різко упаде до низького рівня, тобто до нуля. Камера Б і ємність V через дросель α почнуть розряджатись по експоненціальному закону у відповідності до рівняння:

$$P_{\text{Б}}(t) = P_{\text{В}}(t) = (P_{\text{ПДП}} + \Delta P)e^{-\frac{1}{T}t} \quad (156)$$

Коли цей тиск $P_{\text{Б}}(t)$ досягне значення тиску підпору $P_{\text{ПДП}}$, знов наступить момент рівноваги сил $N_{\text{В}} = N_{\text{ЗЗ}}$, при якому наступить рівність тисків $P_{\text{Б}}(t) = P_{\text{ПДП}}$. Мембранний блок знову почне рухатись до низу. В камері Г знову почне з'являтися сила додатного зворотного зв'язку n , яка заставить рухатись мембранний блок з прискоренням і він надійно відкриє верхнє сопло живлення в камері Г і надійно закриє нижнє сопло скидання повітря в атмосферу в камері А. На виході генератора знову з'явиться новий високий рівень сигналу $P_{\Gamma} = P_{\text{ЖИВ}}$. Цей високий рівень знову буде поступати через дросель α в ємність V та камеру Б. Але рівняння, яке описує закон зміни тиску в ємності V та камері Б буде мати дещо інший вигляд:

$$P_{\text{Б}}(t) = P_{\text{В}}(t) = (P_{\Gamma} - P_{\text{ПДП}})(1 - e^{-\frac{1}{T}t}) \quad (157)$$

Коли тиск в камері Б і ємності V знов досягне значення $P_{\text{Б}}(t) = P_{\text{ПДП}} + \Delta P$, наступить момент компенсації сил і мембранний блок почне знову рухатись вгору. На виході генератора знову з'явиться низький рівень сигналу (наприклад, $P_{\Gamma} = 0$) і камера Б і ємність V знову почнуть розряджатись. Цей процес буде весь час продовжуватись з частотою, яка буде залежить від провідності дроселя α та об'єму ємності V . Треба відмітити, що час T_1 тримання високого рівня на виході генератора $P_{\Gamma} = P_{\text{ЖИВ}}$ в наступних тактах буде значно меншим, ніж в першому. Ц пов'язано з тим, що тільки в першому такті початковий тиск в ємності V інерційної ланки, яка складається із дроселя α та ємності V , буде дорівнювати нулю, тобто

$P_V(0) = 0$ кгс/см², а скачок на вході до цієї ланки буде дорівнювати тиску живлення, тобто $P_\Gamma = P_{\text{жив}}$. У всіх наступних тактах заповнення ємності V та камери Б початковий тиск біде дорівнювати тиску підпору, тобто $P_V(t_2) = P_{\text{підп}}$, а скачок на вході буде дорівнювати $(P_{\text{жив}} - P_{\text{підп}})$.

Важливими параметрами, які характеризують роботу генератора є період T_Γ або частота f коливань (частота f є величина зворотна до періоду: $f = 1/T_\Gamma$), амплітуда P_Γ , фаза (зміщення початку коливань по відношенню до умовного «0») та шпаруватість (на російській мові «скважность») ν ($\nu = T_I/T_\Gamma$). Шпаруватість ν – це величина, яка показує, як відноситься протяжність (час) імпульсу генератора T_I до всього періоду коливань T_Γ і лежить в межах від 0 до 1, тобто $0 \leq \nu \leq 1$.

Для визначення часу імпульсу генератора T_I за пишемо значення тиску $P_V(t)$ в ємності V і камері Б для двох точок: точки 2 і точки 3.

$$P_B(t_2) = P_V(t_2) = (P_\Gamma - P_{\text{підп}})(1 - e^{-\frac{1}{T}t_2}) + P_{\text{підп}}, \quad (158)$$

Зауважимо, що t_2 в показнику експоненти має дорівнювати 0, тобто $t_2 = 0$, бо це є новий початок відліку часу.

$$P_B(t_3) = P_V(t_3) = (P_\Gamma - P_{\text{підп}})(1 - e^{-\frac{1}{T}t_3}) + P_{\text{підп}}. \quad (159)$$

Значення t_3 в показнику експоненти відповідає проміжку часу

$(t_3 - t_2) = T_I$. Різниця $t_3 - t_2$ і є шуканий час високого рівня сигналу T_I .

Різниця між тисками $P_V(t_3)$ і $P_V(t_2)$ дорівнює $\Delta P = 0,2 \dots 0,3$ кгс/см².

Тому можна записати:

$$\Delta P = P_V(t_3) - P_V(t_2) = (P_\Gamma - P_{\text{підп}})(1 - e^{-\frac{1}{T}t_3}) - (P_\Gamma - P_{\text{підп}})(1 - e^{-\frac{1}{T}t_2}) \quad (160)$$

Зробивши деякі перетворення, можна отримати:

$$\Delta P = P_V(t_3) - P_V(t_2) = (P_\Gamma - P_{\text{ПДП}})(1 - e^{-\frac{1}{T}(t_3 - t_2)}) \quad (161)$$

Для знаходження цієї різниці робимо наступні перетворення.

Розділимо ліву та праву частини отриманого рівняння на $(P_\Gamma - P_{\text{ПДП}})$ та, зробивши деякі перетворення, злогарифмуємо :

$$\frac{\Delta P}{(P_\Gamma - P_{\text{ПДП}})} = (1 - e^{-\frac{1}{T}(t_3 - t_2)}) \quad (162)$$

$$1 - \frac{\Delta P}{(P_\Gamma - P_{\text{ПДП}})} = e^{-\frac{1}{T}(t_3 - t_2)} \quad (163)$$

$$\frac{P_\Gamma - P_{\text{ПДП}}}{(P_\Gamma - P_{\text{ПДП}} - \Delta P)} = e^{\frac{1}{T}(t_3 - t_2)} \quad (164)$$

$$\ln \frac{P_\Gamma - P_{\text{ПДП}}}{(P_\Gamma - P_{\text{ПДП}} - \Delta P)} = \frac{1}{T}(t_3 - t_2), \quad (165)$$

$$T \ln \frac{P_\Gamma - P_{\text{ПДП}}}{(P_\Gamma - P_{\text{ПДП}} - \Delta P)} = (t_3 - t_2) = T_1 \quad (166)$$

$$T \ln \frac{1}{(1 - \frac{\Delta P}{P_\Gamma - P_{\text{ПДП}}})} = (t_3 - t_2) = T_1 \quad (167)$$

Для відрізка часу, який відповідає паузі між імпульсами генератора, тобто $(t_4 - t_3) = T_{\text{П}}$, аналогічні перетворення виглядають так:

$$P_B(t_3) = P_V(t_3) = (P_\Gamma - P_{\text{ПДП}})(1 - e^{-\frac{1}{T}t}) \Big|_{t=t_3} = P_{\text{ПДП}} + \Delta P, \quad (168)$$

$$P_B(t_4) = P_V(t_4) = (P_{\text{пдп}} + \Delta P) e^{-\frac{1}{T}(t_4 - t_3)} = P_{\text{пдп}}, \quad (169)$$

$$\Delta P = P_V(t_3) - P_V(t_4) = (P_{\text{пдп}} + \Delta P) - (P_{\text{пдп}} + \Delta P) e^{-\frac{1}{T}(t_4 - t_3)}, \quad (170)$$

$$\Delta P = (P_{\text{пдп}} + \Delta P) (1 - e^{-\frac{1}{T}(t_4 - t_3)}), \quad (171)$$

$$\frac{\Delta P}{(P_{\text{пдп}} + \Delta P)} = (1 - e^{-\frac{1}{T}(t_4 - t_3)}),$$

$$1 - \frac{\Delta P}{(P_{\text{пдп}} + \Delta P)} = e^{-\frac{1}{T}(t_4 - t_3)} \quad (172)$$

$$\frac{P_{\text{пдп}} + \Delta P}{P_{\text{пдп}}} = e^{\frac{1}{T}(t_4 - t_3)} \quad (173)$$

$$\ln \frac{P_{\text{пдп}} + \Delta P}{P_{\text{пдп}}} = \ln(e^{\frac{1}{T}(t_4 - t_3)}), \quad (174)$$

$$T \ln(1 + \frac{\Delta P}{P_{\text{пдп}}}) = (t_4 - t_3) = T_{\text{п}}. \quad (175)$$

Із отриманих рівнянь (167, 175) можна зробити висновок, що із збільшенням тиску підпору $P_{\text{пдп}}$ час імпульсу генератора $T_{\text{Г}}$ збільшується, а час паузи $T_{\text{п}}$ – зменшується. Тобто, змінюючи тиск підпору $P_{\text{пдп}}$ можна впливати на шпаруватість генератора v .

Для визначення того, від чого залежить період генератора $T_{\text{Г}} = T_{\text{Г}} + T_{\text{п}}$, зробимо деякі перетворення.

$$T_{\Gamma} = T_I + T_{II} = T \ln \frac{P_{\Gamma} - P_{\text{підп}}}{(P_{\Gamma} - P_{\text{підп}} - \Delta P)} + T \ln \left(1 + \frac{\Delta P}{P_{\text{підп}}}\right) \quad (176)$$

$$T_{\Gamma} = T \ln \left(\frac{P_{\Gamma} - P_{\text{підп}}}{(P_{\Gamma} - P_{\text{підп}} - \Delta P)} \times \frac{P_{\text{підп}} + \Delta P}{P_{\text{підп}}} \right) \quad (177)$$

$$T_{\Gamma} = T \ln \left(1 + \frac{P_{\Gamma} \Delta P}{P_{\Gamma} P_{\text{підп}} - P_{\text{підп}}^2 - \Delta P P_{\text{підп}}} \right) \quad (178)$$

Із останнього виразу можна зробити висновок, що період генератора сильно залежить від сталої часу T (яка, в свою чергу, залежить від провідності дроселя α та об'єму ємності V , див. главу 7 та рис. 79), ширини зони спрацьовування ΔP (яка для конкретного генератора є величиною стала) і залежить від підпору $P_{\text{підп}}$, але залежність від тиску підпору $P_{\text{підп}}$ і ширини зони спрацьовування ΔP є нелінійною.

11.3. Призначення імпульсаторів

Іноді виникає потреба одночасно мати сигнал генератора і сигнал, зміщений у часі або сигнал, змінений за довжиною імпульсу чи паузи, чи іншими параметрами. Цю задачу вирішують за допомогою таких пристроїв, які звуться імпульсаторами.

Треба відмітити, що імпульсатор без генератора не працює.

Схема імпульсатора, який зміщує сигнал генератора у часі наведена на рис. 132. Ця схема працює наступним чином. З виходу генератора на вхід дроселя β поступає імпульс високого рівня P_{Γ} . Оскільки він поступає на вхід інерційної ланки, яка складається з дроселя β та ємності V , то в камері В імпульсатора він починає зростати по експоненціальній залежності, створюючи затримку у формуванні тиску спрацьовування $P_{\text{В}}$. Цей тиск

спрацьовування має дорівнювати тиску великого підпору $P_{\text{пдп. в.}}$. В той час, коли порівнюються ці тиски, сили N_B і N_{Π} також порівнюються і в наступний момент часу мембранний блок імпульсатора почне рухатись до низу. В камері Г імпульсатора почне з'являтися сила додатного зворотного зв'язку n , яка заставить рухатись мембранний блок з прискоренням і він надійно відкриє верхнє сопло в камері Г і надійно закриє нижнє сопло в камері А.

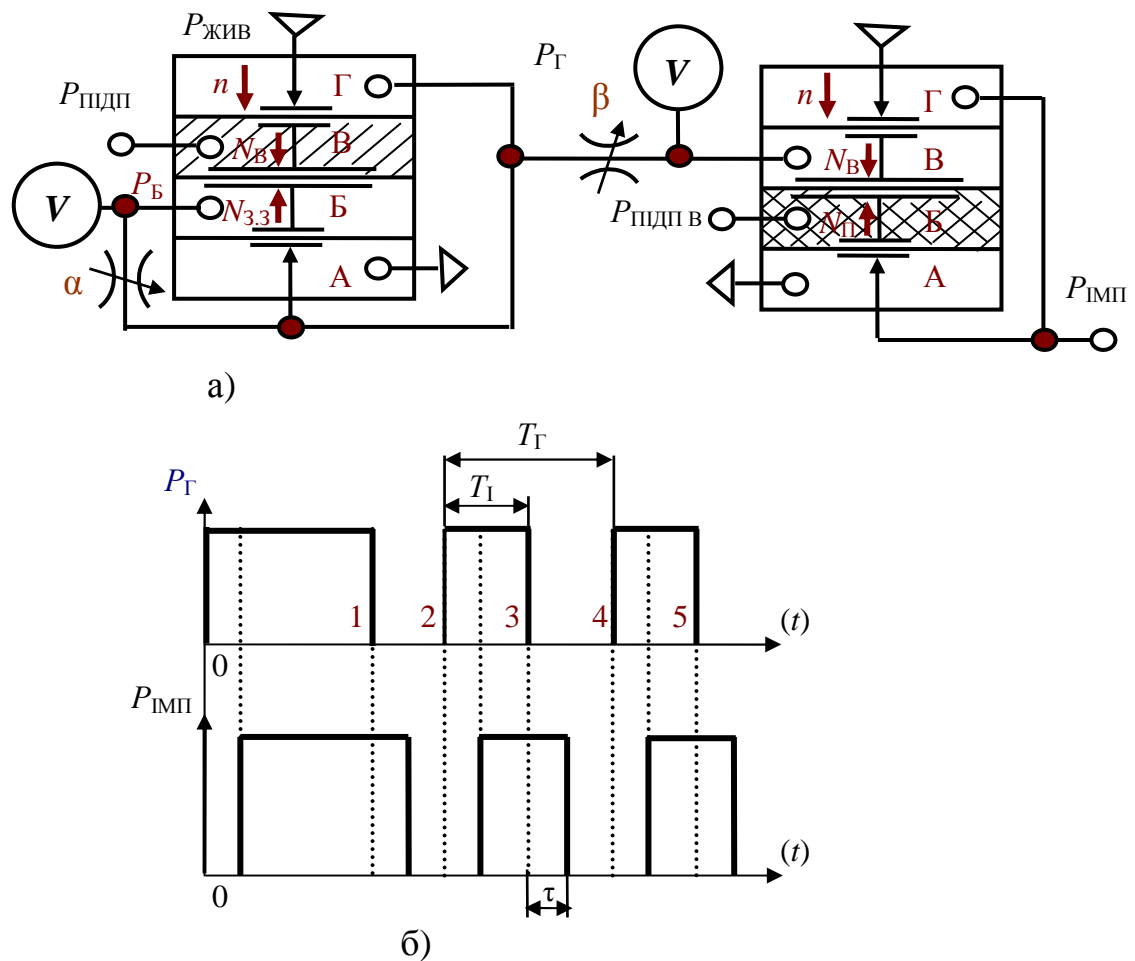


Рис. 132. Схема імпульсатора, який зміщує сигнал генератора у часі: а) – принципова схема імпульсатора; б) – часова діаграма формування тисків на виході генератора P_{Γ} та на виході імпульсатора $P_{\text{ІМП}}$

На виході імпульсатора сформується високий рівень сигналу, але з затримкою τ по відношенню до імпульсу генератора, величина якої буде залежить від властивостей інерційної ланки із дроселя β та ємності V .

При спаду до нуля імпульсу генератора P_{Γ} інерційна ланка почне розряджатись. Але тиск в камері В, при якому відбудеться перекидання мембранного центру вгору буде на $0,2...0,3 \text{ кгс/см}^2$ менше від тиску великого підпору $P_{\text{пдп. в}}$ внаслідок того, що потрібно створити зусилля, еквівалентне зусиллю n , яке виникає від дії тиску живлення на малий мембранний центр в камері Г.

На рис. 133 приведена схема імпульсатора, яка затримує передній фронт генератора (зрізує передній фронт).

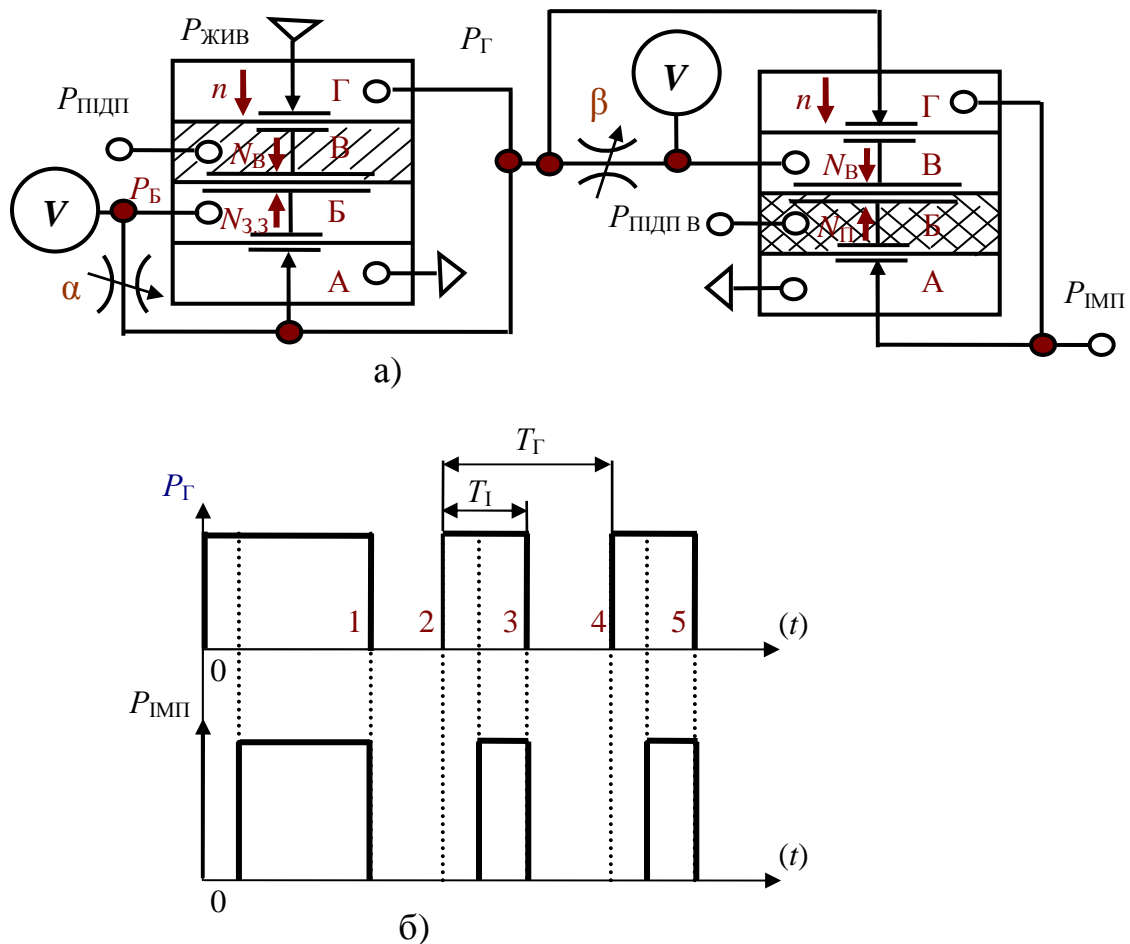
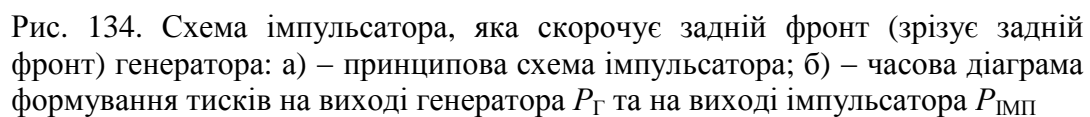


Рис. 133. Схема імпульсатора, яка затримує передній фронт генератора (зрізує передній фронт): а) – принципова схема імпульсатора; б) – часова діаграма формування тисків на виході генератора P_{Γ} та на виході імпульсатора

Схема імпульсатора, яка, навпаки, скорочує задній фронт (зрізує задній фронт) генератора, приведена на рис. 134.



194

сокого рівня з'являється одночасно з сигналом високого рівня генератора P_{Γ} , але спад до нуля вихідного сигналу імпульсатора $P_{\text{ІМП}}$ відбудеться раніше з часом запізнення τ , бо вихід інерційної ланки із ємності V заведено до від'ємної камери Б.

Наступна схема (рис. 135) дозволяє змінити співвідношення між імпульсом і паузою генератора, подовжуючи задній фронт імпульсу генератора.

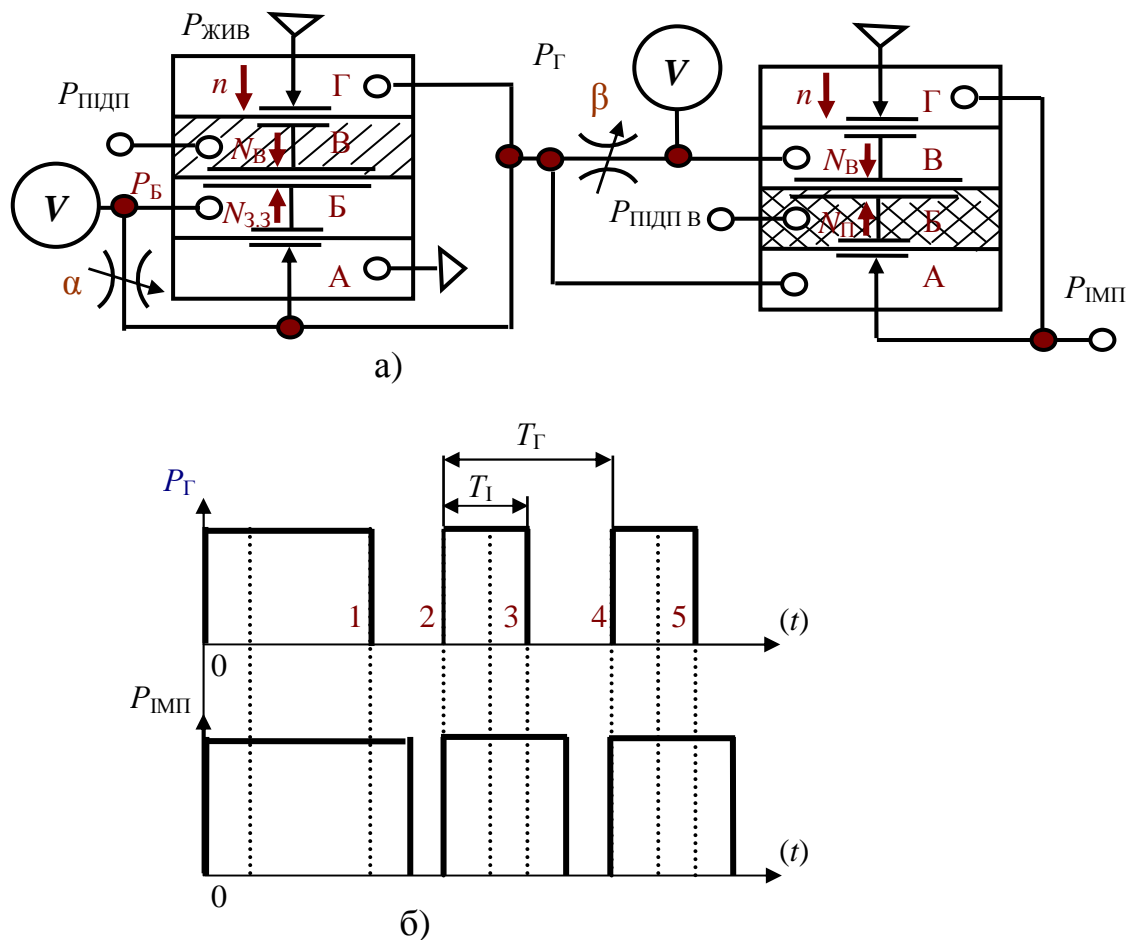


Рис. 135. Схема імпульсатора, яка дозволяє змінити співвідношення між імпульсом і паузою генератора, подовжуючи задній фронт імпульсу генератора: а) – принципова схема імпульсатора; б) – часова діаграма формування тисків на виході генератора P_{Γ} та на виході імпульсатора $P_{\text{ІМП}}$

Ця схема цікава тим, що перекидання мембранного центру імпульсатора з верхнього положення в нижнє відбувається через проміжок часу τ ,

при цьому високий рівень сигналу на виході імпульсатора не змінює свого значення (просто змінюється джерело цього сигналу – високий рівень сигналу генератора P_{Γ} замінюється високим рівнем сигналу живлення $P_{\text{жив}}$). Спад же до нуля сигналу імпульсатора здійснюється через лінію генератора.

Іноді виникає потреба створити генератор, у якого вихідний сигнал має знаходитись в певних межах. Цю задачу вирішують, підключивши до виходу генератора реле перемикування. Схема такого генератора наведена на рис. 136.

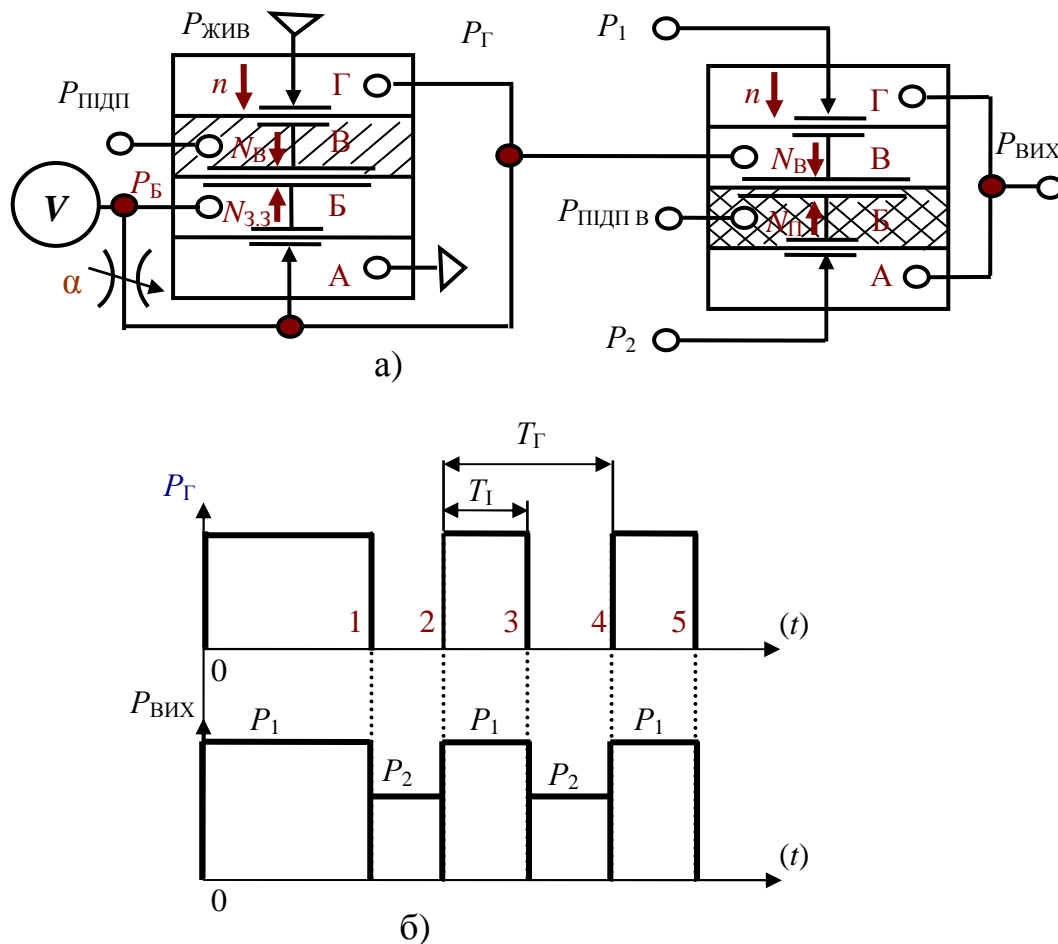


Рис. 136. Схема генератора з регульованими межами вихідного сигналу:
а) – принципова схема генератора; б) – часова діаграма формування тисків на виході генератора P_{Γ} та на виході реле переключення $P_{\text{ВІХ}}$

В цій схемі здійснюється почергова комутація сигналів P_1 та P_2 у відповідності до тактів генератора.

Для створення генератора, частота коливань якого змінюється дистанційно, можна скористатись схемою опору, який керується дистанційно, наведеною на рис. 54 (розділ 5.1). Схему такого генератора зображено на рис. 137.

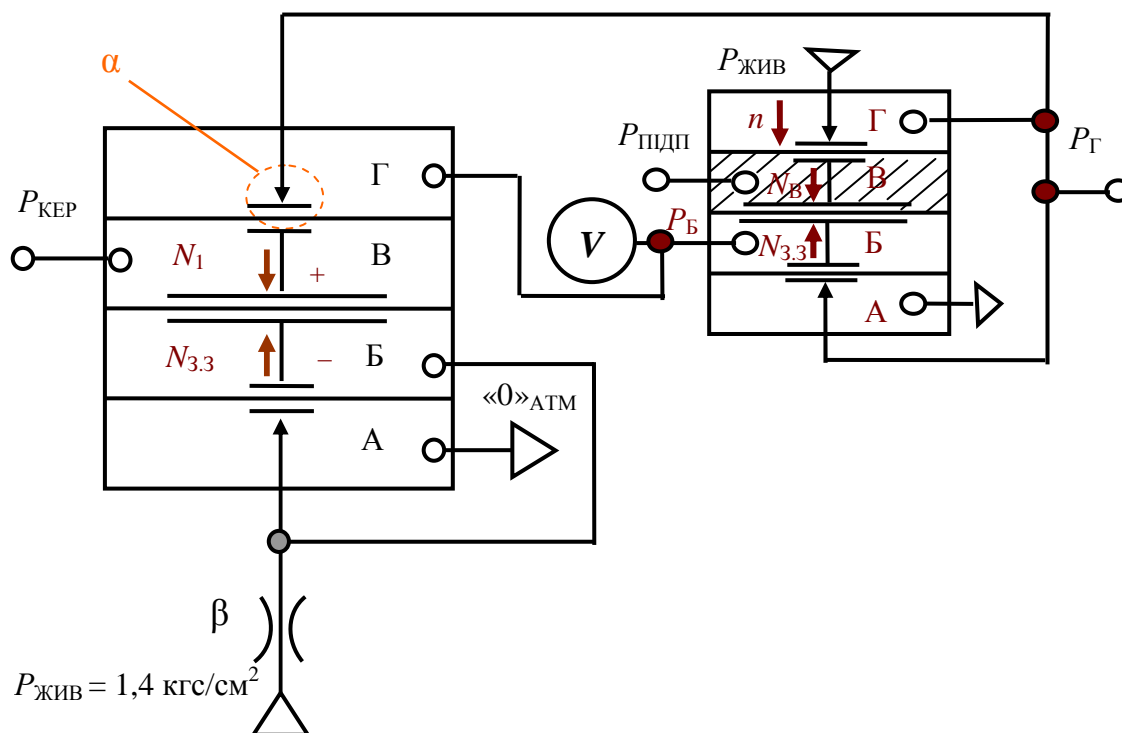


Рис. 137. Схема генератора, частота коливань якого змінюється дистанційно

У цього генератора із збільшенням сигналу керування $P_{\text{КЕР}}$ провідність дроселя α збільшується також, тому частота коливань генератора також збільшується.

11.4. Генератори лінійно зростаючого тиску

Для створення генератора лінійно зростаючого тиску можна використати інтегруючу ланку, схема якої наведена на рис. 81 (див. розділ 7.2).

Якщо на вхід такої ланки подати сигнал постійного значення, то вихідний сигнал буде зростати по лінійному закону (див. рис. 138).

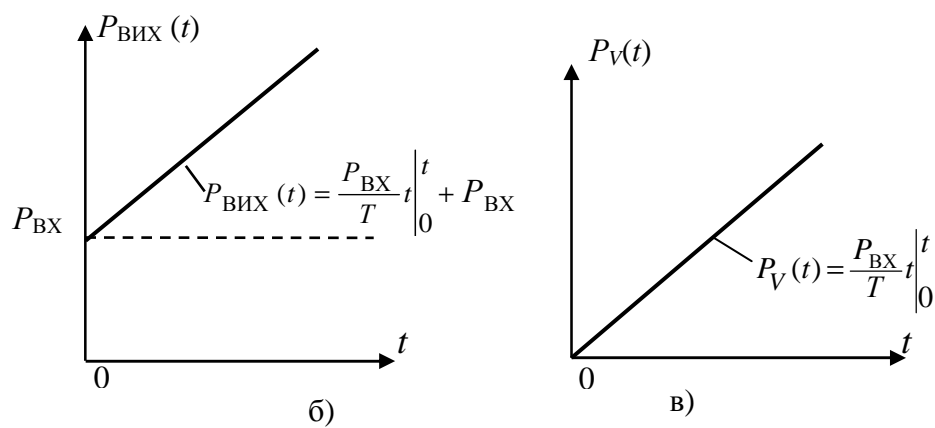
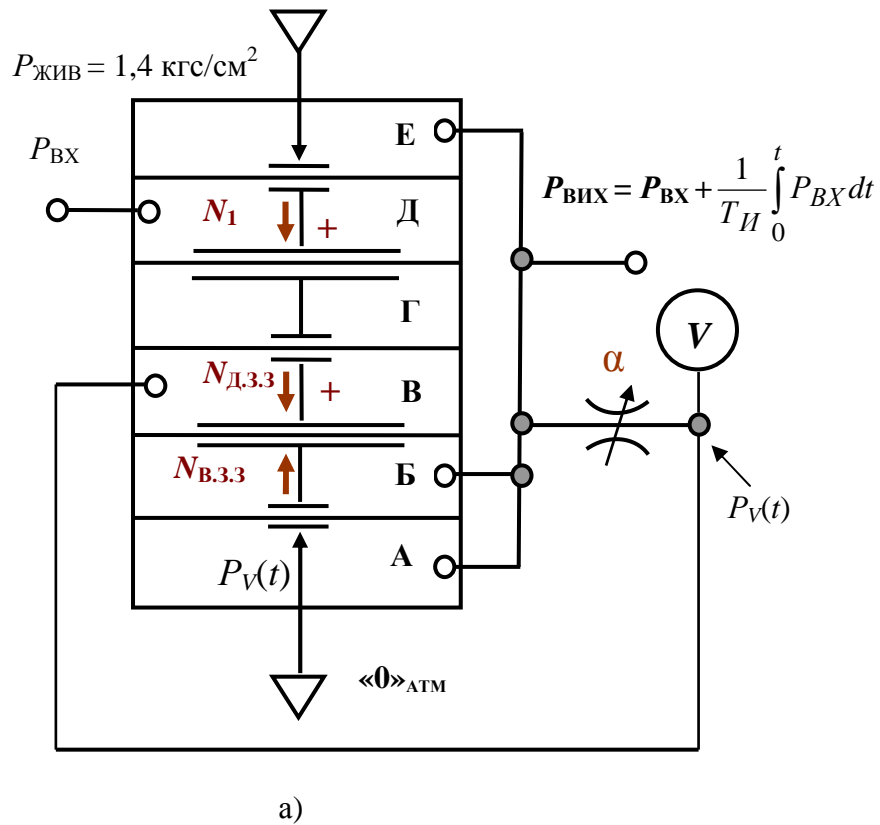
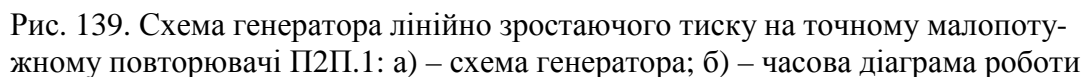


Рис. 138. Схема генератора лінійно зростаючого тиску:
а) – схема генератора; б) – вигляд вихідної характеристики; в) – зміна тиску в ємності V

[illegible]

199

імпульси від пневматичного генератора, то мембранний блок цього реле буде по чергову закривати і відкривати нижнє сопло цього реле в камері А. В наслідок цього ємність V буде по чергову то сполучатись, то від'єднуватись від атмосфери. В той момент, коли ємність V буде відімкнено від атмосфери, тиск $P_V(t)$ в цій ємності почне зростати по лінійному закону. Це пояснюється тим, що перепад тиску на дроселі α повинен мати сталє значення, тобто $\Delta P_\alpha = P_{1\text{ ст}} - P_{\text{вх}} = \text{const}$. Це сталє значення буде зберігатись до тих пір, поки тиск в ємності V не досягне значення $P_V = P_{\text{вх}}$. Завдяки цьому витрата повітря або газу $q_\alpha = \alpha(P_{1\text{ ст}} - P_{\text{вх}})$ через дросель α (див.рис.78, розд.7.1) буде сталою і тиск $P_V(t)$ в ємності V буде зростати по лінійному закону. Далі тиск в цій ємності буде зростати по експоненціальній залежності до тиску живлення дроселя генератора $P_{1\text{ ст}}$. Тому треба вибирати ширину імпульсів високого рівня генератора $P_{\text{ком.1}}$ такою, щоб тиск у ємності V не став більше, чим $P_{\text{вх}}$. Коли імпульс генератора спадає до низького рівня, тобто коли $P_{\text{ком.1}} = \ll 0 \gg$, мембранний блок реле під дією тиску підпору підіймається вгору і ємність V через сопло камери А, яке відкрилось, з'єднується з атмосферою. Тиск $P_V(t)$ стає рівним нулю. Для того, щоб об'єм пневматичних трубок з'єднання не впливав на об'єм ємності V і, в наслідок з цього, на кут нахилу зростання тиску $P_V(t)$, вихідний сигнал $P_{\text{вих}}$ формується через ще один малопотужний повторювач П2П.1. Тобто $P_V(t) = P_{\text{вих}}$. Для підвищення точності роботи схеми для живлення дроселя α використовується спеціальний стабілізований тиск живлення $P_{1\text{ ст}}$.

Треба зауважити, що для створення генератора лінійно зростаючого тиску на мало потужному повторювачі П2П.1 треба зробити деякі переробки цього повторювача. Якщо такої можливості нема, то можна скористатись точним малопотужним перетворювачем П2П.2 або тримембранним

елементом порівняння ПЗЕС.1. Схеми таких генераторів приводяться у відповідній літературі [8]. Приклад такої схеми показано на рис. 140.

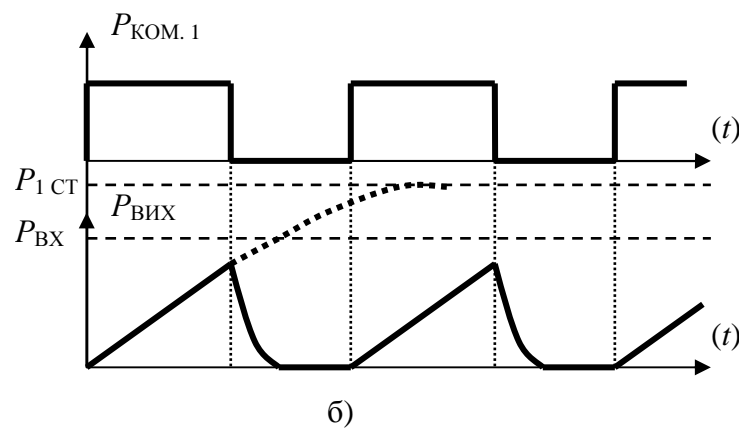
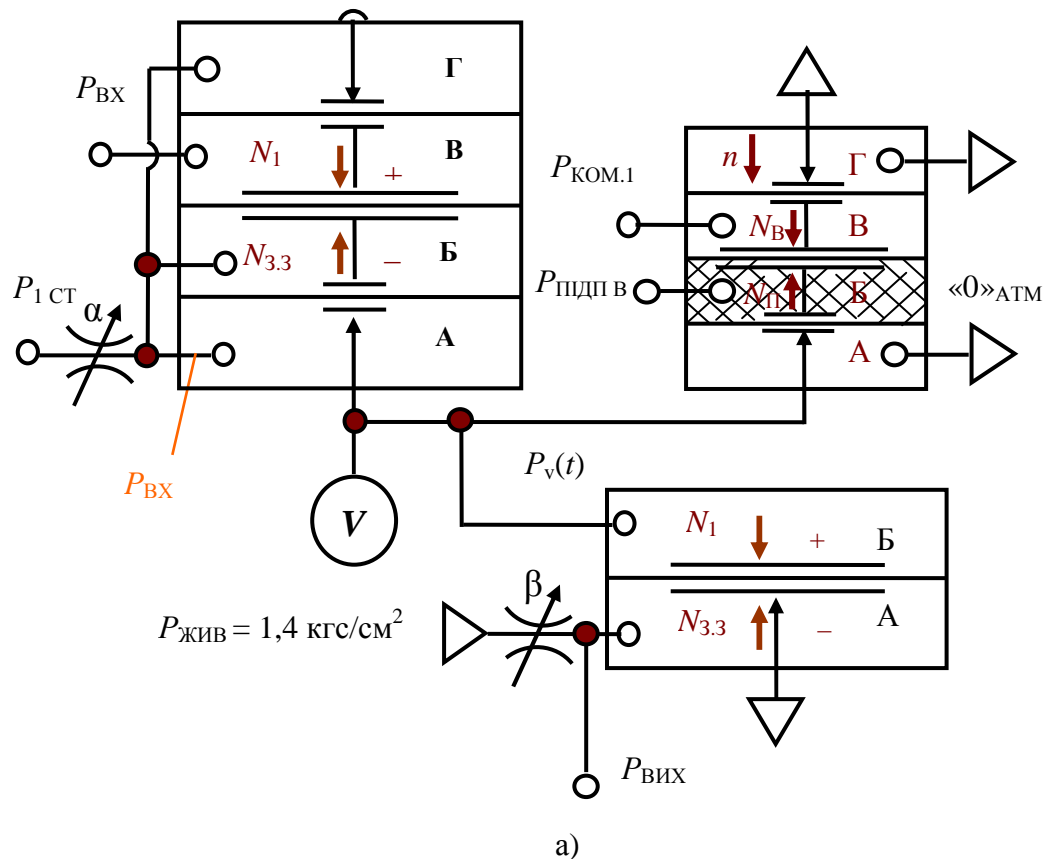


Рис. 140. Схема генератора лінійно зростаючого тиску на тримембранному елементі порівняння П2ЕС.1: а) – схема генератора; б) – часова діаграма роботи

11.5. Генератори лінійно спадаючого тиску

Генератори лінійно зростаючого тиску мають деяку чутливість до зміни тиску живлення, що може привести до зменшення точності роботи приладів, в яких використовуються ці генератори. Тому в деяких випадках застосовують генератори лінійно спадаючого тиску. Схема такого генератора наведена на рис. 141.

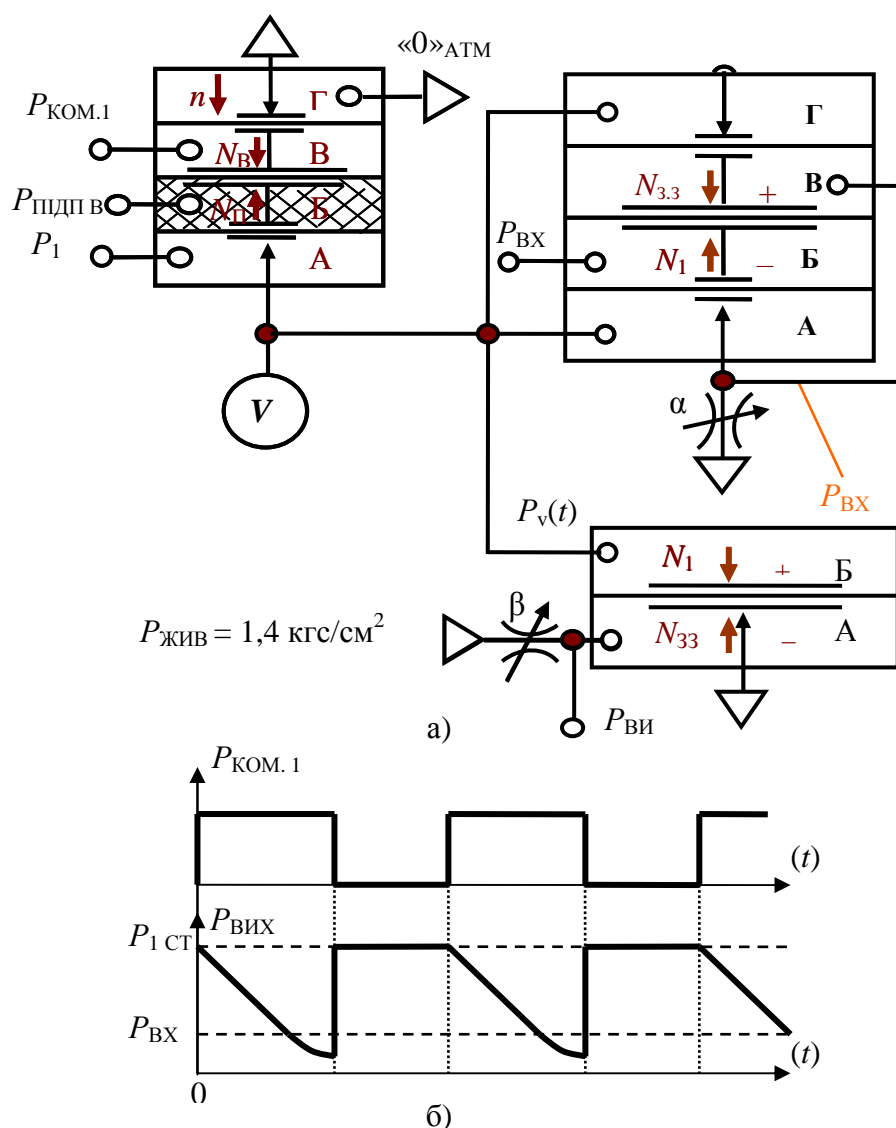


Рис. 141. Схема генератора лінійно спадаючого тиску на тримембранному елементі порівняння П2ЕС.1: а) – схема генератора; б) – часова діаграма роботи

В цій схемі в початковий момент ємність V з'єднано з тиском $P_{1\text{ ст}}$ через відкрите нижнє сопло А пневматичного реле. Тому на виході схеми високий рівень тиску в ємності V повторюється повторювачем П2П.1. З приходом командного сигналу $P_{\text{КОМ.1}}$ мембранний блок пневматичного реле опускається до низу і його гумова прокладка затуляє сопло в камері А. Ємність V від'єднується від лінії високого тиску $P_{1\text{ ст}}$ і починає розряджатись через сопло А тримембранного повторювача П2ЕС.1 і дросель α . Оскільки за умови роботи цього повторювача (за умовою рівноваги його мембранного центра) в камері В має бути такий самий тиск, як і в камері Б, тобто $P_{\text{ВХ}}$, то перед дроселем α завжди буде цей тиск. Так як другий кінець дроселя α сполучено з атмосферою, то на цьому дроселі буде завжди постійний перепад $\Delta P_{\alpha} = P_{\text{ВХ}}$. В наслідок цього витрата повітря через дросель α буде постійною, тобто $q_{\alpha} = \alpha(P_{\text{ВХ}} - 0) = \text{const}$. Таким чином, ємність V буде розряджатись до тиску $P_{\text{ВХ}}$ по лінійному закону. Далі мембранний центр тримембранного повторювача П2ЕС.1 підіймається вгору, його сопло в камері А повністю відкривається і ємність продовжує розряджатись по експоненціальній залежності.

11.6. Практичне використання генераторів лінійно зростаючого та спадаючого тисків

Генератори лінійно зростаючого та лінійно спадаючого тисків застосовуються для багатьох технічних засобів. Наприклад, вони можуть бути застосовані при вимірювання істинного об'єму сипкого матеріалу, об'єму тіл неправильної геометричної форми, об'єму рідин та пористості матеріалів. Схема одного із варіантів такого пристрою, який вимірює об'єм сипкого матеріалу, наведена на рис. 142. Цей пристрій здатен формувати стандартний пневматичний сигнал діапазону $0,2 \dots 1,0 \text{ кгс/см}^2$, пропорційний вимірюваному об'єму.

Принцип його роботи базується на визначенні часу заповнення ємності фіксованого об'єму, в яку поміщено досліджуваний матеріал, до певного заданого тиску. Причому, заповнення ємності тиском ведуть по лінійному закону.

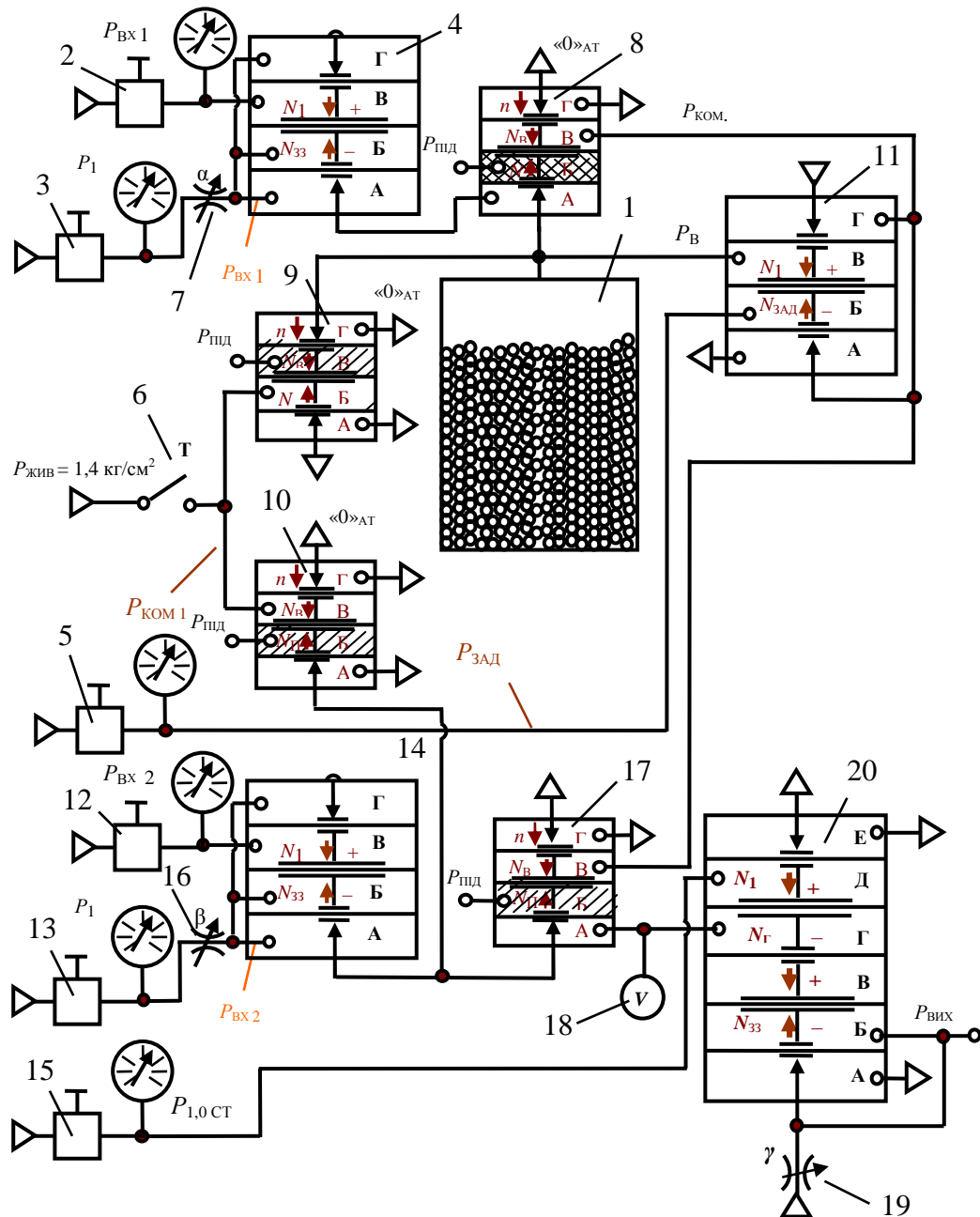


Рис. 142. Схема, яка вимірює об'єм сипкого матеріалу або тіл неправильної геометричної форми

Пристрій складається із ємності 1 (див. рис. 142)), в яку поміщають досліджуваний матеріал, формувача стандартного пневматичного сигналу на п'ятимембранному елементі порівняння 20 та дроселі 19, ємності 18, тримембранного елемента порівняння 11, реле комутації 8, 9, 10, 17, задавачів еталонних тисків 2, 3, 5, 12, 13, 15 з манометрами, тумблера керування 6 та двох генераторів лінійно зростаючого тиску, які працюють одночасно. Перший генератор лінійно зростаючого тиску будується на задавачах еталонних тисків 2 і 3, тримембранному елементі порівняння 4, дроселі 7 (дроселі α), реле 8 та безпосередньо ємності 1, в яку поміщено досліджуваний матеріал. Другий генератор складається із задавачів еталонних тисків 12 і 13, тримембранному елементі порівняння 14, дроселя 16 (дроселі β), реле 17 та ємності 18, в якій формується сигнал, пропорційний вимірюваному. Задавач 5 слугує для задавання тиску спрацьовування $P_{\text{Зад}}$, а задавач 15 задає верхню межу стандартного сигналу $P_{1,0 \text{ CT}} = 1 \text{ кгс/см}^2$.

Пристрій працює наступним чином. В початковий момент тумблер 6 (Т) знаходиться в розімкненому стані. Мембранні центри реле 8, 10 та 17 знаходяться у верхньому положенні, а мембранний центр реле 9 – у нижньому. Завдяки цьому ємність вимірювання 1 та ємність формування стандартного сигналу сполучені з атмосферою. На виході пристрою буде тиск, який дорівнює максимальному значенню стандартного пневматичного $P_{\text{вих}} = 1,0 \text{ кгс/см}^2$. При замиканні тумблера Т подається командний тиск $P_{\text{ком 1}}$, який заставляє мембранний блок реле 9 піднятися вгору, а мембранний блок реле 10 – опуститися до низу. При цьому ємність вимірювання 1 завдяки закриванню сопла в камері Г елемента 9 (Γ_9) відімкнеться від атмосфери і в ній почне зростати тиск по лінійному закону. Одночасно, завдяки тому, що закриється сопло Γ_{10} елемента 10, в ємності V почне зростати тиск $P_V(t)$ також по лінійному закону. Швидкість зростання цього тиску можна регулювати за допомогою дроселя 16 (β). Коли тиск в ємності 1

досягне заданого значення $P_{\text{зАд}}$, на виході елемента 11 з'явиться другий командний сигнал $P_{\text{КОМ 2}}$. Цей сигнал за допомогою мембранних центрів елементів 8 та 17 закрийє нижні сопла A_8 та A_{17} , внаслідок чого лінійне зростання тисків в ємностях 1 та 18 зупиниться. Тиск в ємності 1 досягне значення $P_{\text{зАд}}$, а тиск в ємності 18 (ємності V) буде залежить від часу, за який тиск в ємності 1 досягне значення $P_{\text{зАд}}$. Цей час і буде визначати істинний об'єм матеріалу, що знаходиться в ємності 1. Тобто, значення тиску $P_V(t)$ в ємності 18 (в ємності V) буде залежить від істинного об'єму матеріалу, що знаходиться в ємності 1. Але це значення буде зворотно пропорційним, бо чим більше заповнена матеріалом ємність 1, тим менше часу потрібно для заповнення її до тиску $P_{\text{зАд}}$. Тому, щоб отримати прямо пропорційну залежність, отримане значення $P_V(t)$ потрібно відняти від стандартного «одиничного» пневматичного сигналу, тобто від сигналу $P_{1,0 \text{ ст}} = 1,0 \text{ кгс/см}^2$ (0,1 МПа). Ця операція здійснюється на п'ятимембранному елементі порівняння 20. Таким чином, на виході пристрою буде значення тиску $P_{\text{вих}}$, прямо пропорційне істинному значенню об'єму матеріалу, що знаходиться в ємності 1. Пневматичний «0», який дорівнює $0,2 \text{ кгс/см}^2$ (0,02 МПа), настраюють при порожній ємності 1. При необхідності змінюють в деяких межах тиск $P_{\text{зАд}}$. Кут нахилу характеристики підбирають, регулюючи дросель 16 (дросель β). Якщо доповнити приведену схему спеціальним генератором та блоком запам'ятовування вихідного сигналу, то можна створити пристрій, що працює в автоматичному режимі.

Другим прикладом використання генераторів зростаючого тиску є створення пневматичних аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Із літературних джерел [8] відомі аналого-цифрові перетворювачі, побудовані на обертових дисках, струминних елементах та ін. Існуючі типи аналого-цифрових перетворювачів наведені в Додатках 3. Також можна побудувати аналого-цифровий перетворювач, використовуючи генератори

лінійно зростаючого тиску. Схема такого генератора з часо-імпульсним перетворенням наведена на рис. 143. Такий аналого-цифровий перетворювач працює наступним чином.

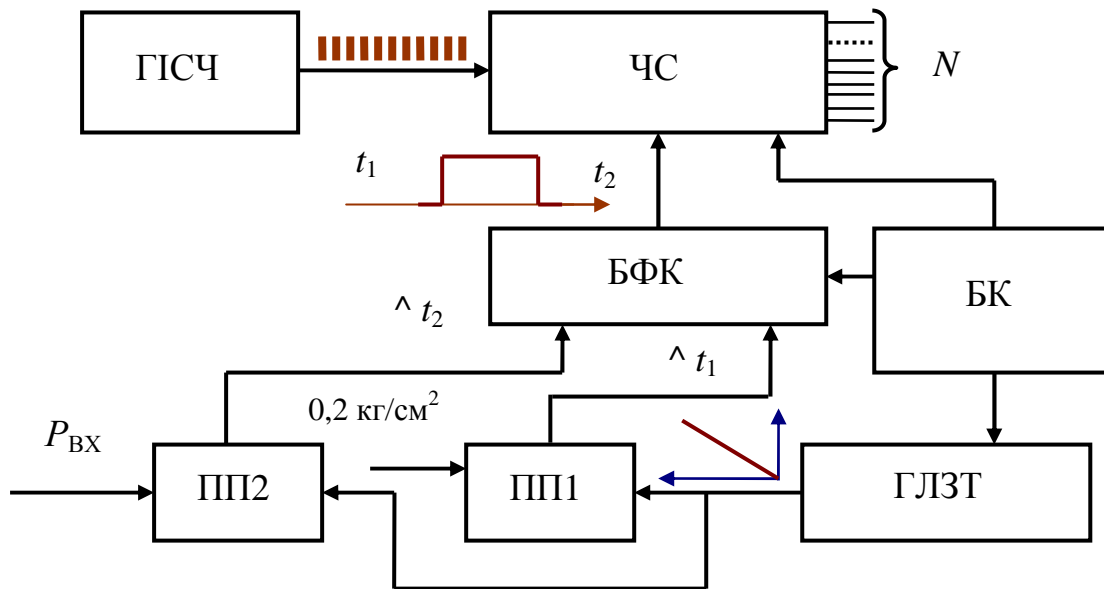


Рис.143. Структурна схема пневматичного аналого-цифрового перетворювача з часо-імпульсним перетворенням

Бло керування (БК) в певний час подає імпульс запуску на генератор лінійно зростаючого тиску (ГЛЗТ) та імпульс дозволу на блок формування високого рівня сигналу (БФК). В той час, коли на виході генератора зростаючого тиску вихідний сигнал досягне значення $0,2 \text{ кгс/см}^2$, що відповідає пневматичному нулю, на виході першого пристрою порівняння ПП1 в момент t_1 з'явиться керуючий імпульс, який сформує на виході БФК високий рівень сигналу. Цей сигнал відкриє часовий селектор ЧС (двійковий лічильник імпульсів), який почне рахувати імпульси, які надходять від генератора імпульсів стабілізованої частоти (ГІСЧ). Коли тиск на виході ГЛЗТ досягне значення вхідного сигналу $P_{\text{ВХ}}$, на виході другого пристрою порівняння ПП2 з'явиться другий керуючий імпульс в момент t_2 .

Цей імпульс створить на виході БФК низький рівень сигналу, який зупинить двійковий лічильник часового селектора. Нараховане число імпульсів на виході цього лічильника N і буде відповідати цифровому (двійковому) значенню вхідного сигналу.

Робота цього аналого-цифрового перетворювача поділяється на дві частини: спочатку аналоговий сигнал перетворюється в проміжок часу $\Delta t = t_2 - t_1$, а потім цей проміжок заповнюється імпульсами стабілізованої частоти (N). Тому такий АЦП зветься «АЦП з часо – імпульсним перетворенням». Часова діаграма його роботи аналогічна електронному варіанту і наводиться в додатках.

Одними з ключових елементів такого пневматичного АЦП є пристрої порівняння ПП1 та ПП2, блок формування команди високого рівня БФК та лічильник імпульсів ЧС.

Пристрої порівняння ПП1 та ПП2 можна побудувати за допомогою схеми порівняння (рис. 31) та диференціальної ланки (рис.89), створених за допомогою елементів системи УСЕППА П2ЕС.1 (дивись рис. 144).

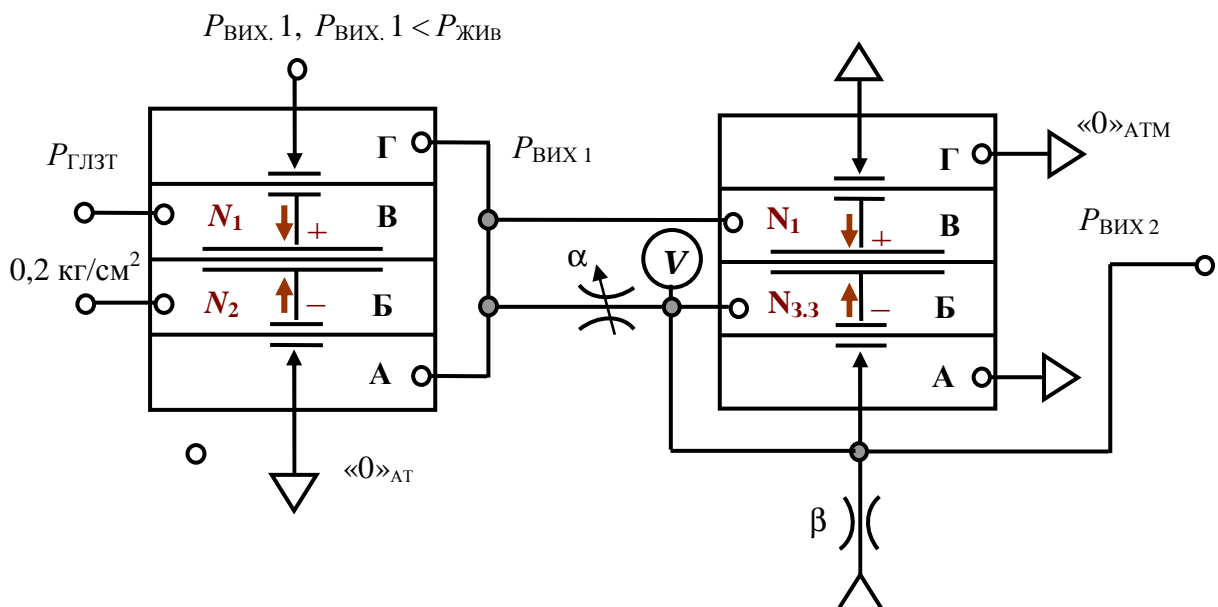


Рис.144. Схема порівняння з імпульсним виходом

Цей пристрій працює наступним чином. В камеру В першого тримембранного елемента порівняння П2ЕС.1 надходить сигнал від генератора лінійно зростаючого тиску ГЛЗТ. Коли цей сигнал досягне значення пневматичного нуля, тобто $0,2 \text{ кгс/см}^2$, на виході цього елемента порівняння з'явиться ступінчатий сигнал $P_{\text{ВИХ } 1}$. Цей сигнал буде далі поступати на вхід диференційної ланки, побудованої на другому тримембранному елементі порівняння. На диференційній ланці ступінчатий сигнал перетвориться в імпульсний сигнал короткої дії на виході $P_{\text{ВИХ } 2}$, який далі дозволить створити керуючий вплив на блок формування команд БФК.

Блок формування команд БФК можна створити на основі найпростішого RS – тригера, який побудовано на тримембранному реле П1Р.1 (дивись рис. 145).

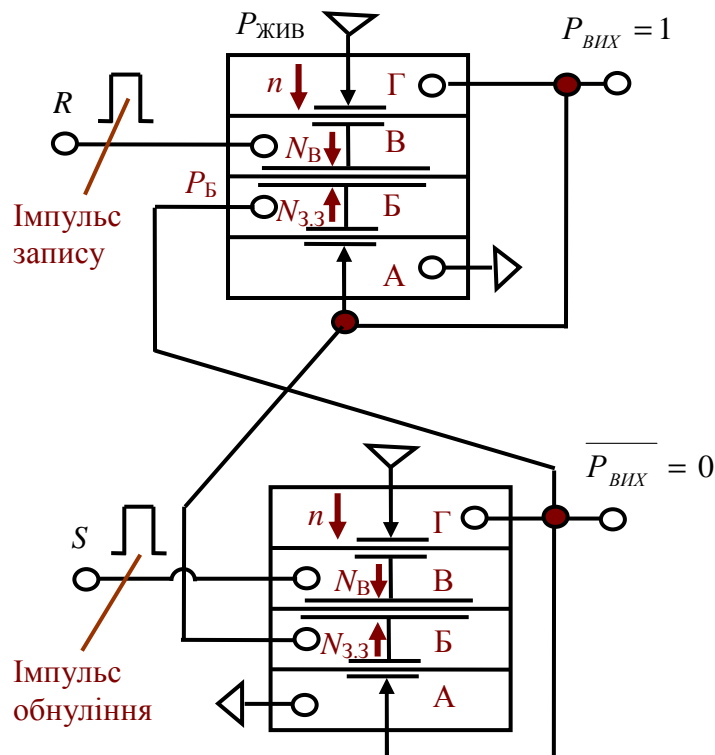


Рис. 145. Схема пневматичного RS – тригера

Схема такого блоку формування команд працює наступним чином. На вхід R від першого пристрою порівняння ПП1, коли на виході ГЛЗТ тиск досягне значення $0,2 \text{ кгс/см}^2$, поступає перший керуючий імпульс. Цей імпульс змушує мембранний блок першого реле опуститися в нижнє крайнє положення і на прямому виході формується сигнал $P_{\text{вих}} = \langle 1 \rangle$. Коли цей керуючий імпульс зникає, то під дією сили додатного зворотного зв'язку n мембранний блок реле буде продовжувати знаходитись в нижньому положенні і це значення $\langle 1 \rangle$ буде зберігатись. Тобто відбудеться запис одиничного значення на виході тригера. На виході блока формування команд БФК створиться сигнал високого рівня, який відкриє двійковий лічильник. Для того, щоб обнулити (очистити) тригер на вхід S треба подати імпульс обнуління, який створюється другим пристроєм порівняння ПП2 в той час, коли на виході ГЛЗТ тиск досягне значення вхідного сигналу $P_{\text{вх}}$. Під дією цього імпульсу мембранний блок другого реле переміститься в нижнє положення і на його інверсному виході запишеться $\langle 1 \rangle$, тобто $\bar{P}_{\text{вих}} = \langle 1 \rangle$. Ця інверсна одиниця заставить мембранний блок першого реле переміститись до гори і дозволить на його виході записати умовний нуль, тобто відбудеться обнуління (очищення) тригера і $P_{\text{вих}}$ стане дорівнювати $\langle 0 \rangle$. На виході БФК створиться низький рівень сигналу і двійковий лічильник зупинить відлік імпульсів, які надходять від генератора імпульсів стабілізованої частоти ГІСЧ.

Двійковий лічильник можна побудувати на основі D – тригера з лічильним входом. Схема такого лічильника наведена на рис. 146. Одна ланка такого D – тригера наведена на рис. 147. Такий лічильник рахує імпульси генератора у відповідності до розрядів двійкового коду, які записуються на виходах Q_1, Q_2, \dots, Q_n відповідно.

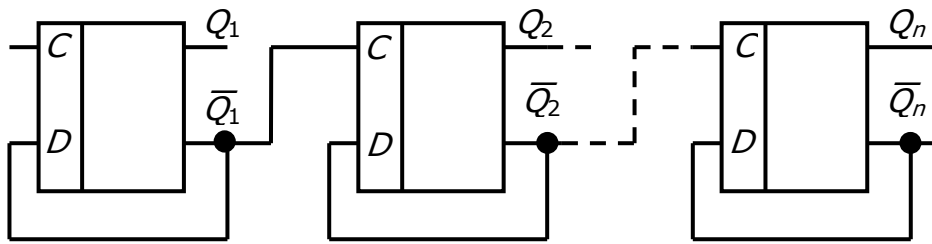


Рис. 146. Схема двійкового лічильника на пневматичних D – тригерах

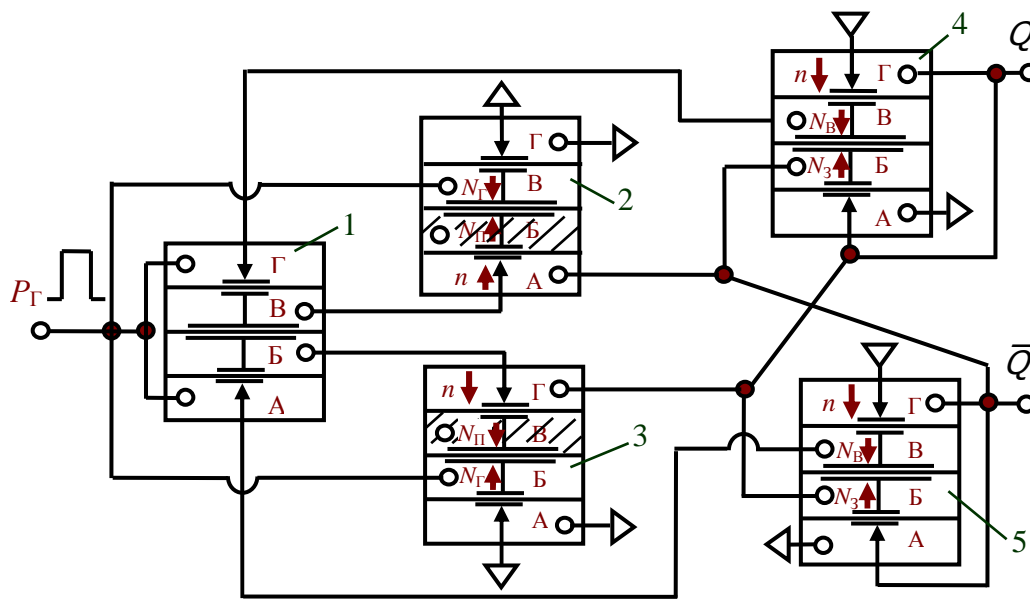


Рис. 147. Схема ланки D – тригера з лічильним входом:
1 – реле зміни напрямку проходження імпульсів; 2, 3 – реле затримки;
4, 5 – реле RS - тригера

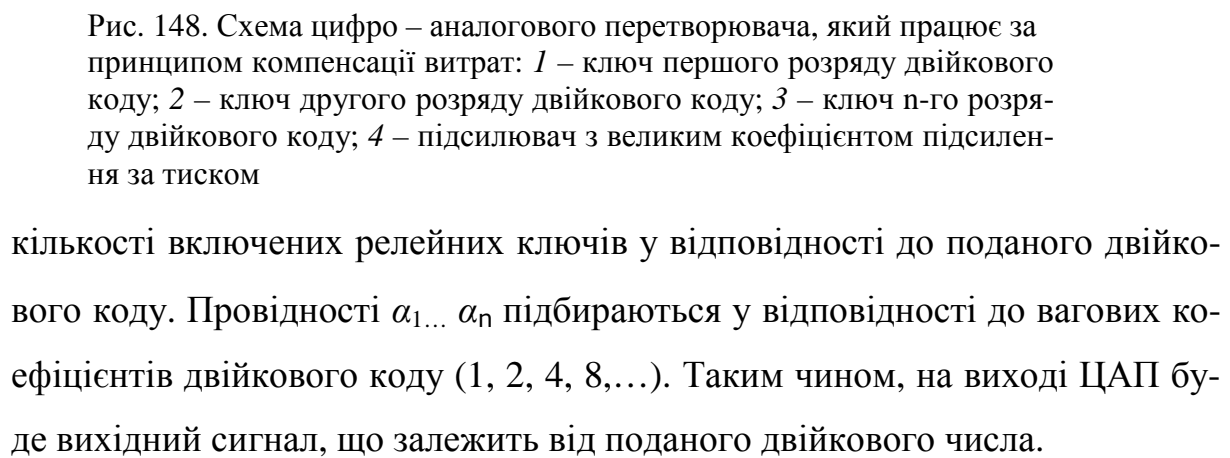
Ланка D – тригера працює наступним чином. В початковий момент на прямому виході Q записано «нуль», тобто $Q = \text{«0»}$, а на інверсному виході \bar{Q} записано «одиницю», тобто $\bar{Q} = \text{«1»}$. Ця «одиниця» проходить через сопло A реле 2 і потрапляє в камеру B реле підготовки проходження імпульсу 1. Мембранний блок цього реле опуститься в нижнє крайнє положення, відкриється верхнє сопло в камері Γ і завдяки цьому підготується проходження імпульсу в камеру B реле 4 RS – тригера. При цьому нижнє сопло в камері A реле 1 буде закрито. Якщо тепер на вхід реле 1 надійде

імпульс P_{Γ} , то він пройде через верхнє сопло в камері Γ реле 1 і потрапить в камеру B реле 4. Мембранний блок цього реле опуститься в нижнє положення і на виході Q буде записано «одиницю», а на інверсному виході \bar{Q} буде записано «нуль». Поки на вході реле 1 буде існувати імпульс P_{Γ} , сопло Γ реле 3 буде заблоковано і «одиниця» з виходу Q в камеру B реле 1 проходити не буде. Але, як тільки імпульс P_{Γ} спаде до нуля, мембранний блок реле 3 опуститься в нижнє положення під дією тиску підпору в камері B реле 3 і «одиниця» з виходу Q попаде в камеру B реле 1. Мембранний блок цього реле підніметься в верхнє положення, відкриється його сопло в камері A і підготується проходження наступного імпульсу в камеру B реле 5. Цей наступний імпульс «обнулить» вихід Q і запише на виході \bar{Q} одиницю. Ця одиниця на наступній ланці D – тригера запише «одиницю», тобто на виході D – тригера буде записана «двійкова» двійка, тобто $2_{10} = 10_2$.

11.7. Робота цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), побудованого за принципом компенсації витрат

Цей перетворювач (рис. 148) працює наступним чином. На входи P_1, P_2, \dots, P_n поступають сигнали у відповідності до двійкового коду (наприклад, 101). Якщо сигнал дорівнює умовній «1», то, потрапивши у від'ємну камеру B , він відкриває сопло A ключа, побудованого на реле П1Р.1 і вихід відповідного дроселя (наприклад, α_1) сполучиться з атмосферою. Через цей дросель почне витрачатись повітря у відповідності до його провідності. Сумарна витрата повітря буде залежати від кількості відкритих дроселів $\alpha_1 \dots \alpha_n$. Але ця сумарна витрата має дорівнювати витраті повітря через дросель зворотного зв'язку $\alpha_{3.3}$. Тільки в цьому випадку не порушиться стан рівноваги підсилювача з великим коефіцієнтом підсилення 4, який побудовано на тримембранному повторювачі П2ЕС.1. В камері B цього повторювача має бути такий самий тиск, як і в камері B , тобто P_0 . Це можливо

213



кількості включених релейних ключів у відповідності до поданого двійкового коду. Провідності $\alpha_1 \dots \alpha_n$ підбираються у відповідності до вагових коефіцієнтів двійкового коду (1, 2, 4, 8,...). Таким чином, на виході ЦАП буде вихідний сигнал, що залежить від поданого двійкового числа.

11.8. Генератори, побудовані на струминних ефектах

Робота генераторів, побудованих на струминних ефектах, базується на почерговому переспрямуванні струменя повітря із одного приймально-го сопла в інше. Спрощена схема такого генератора наведена на рис. 149.

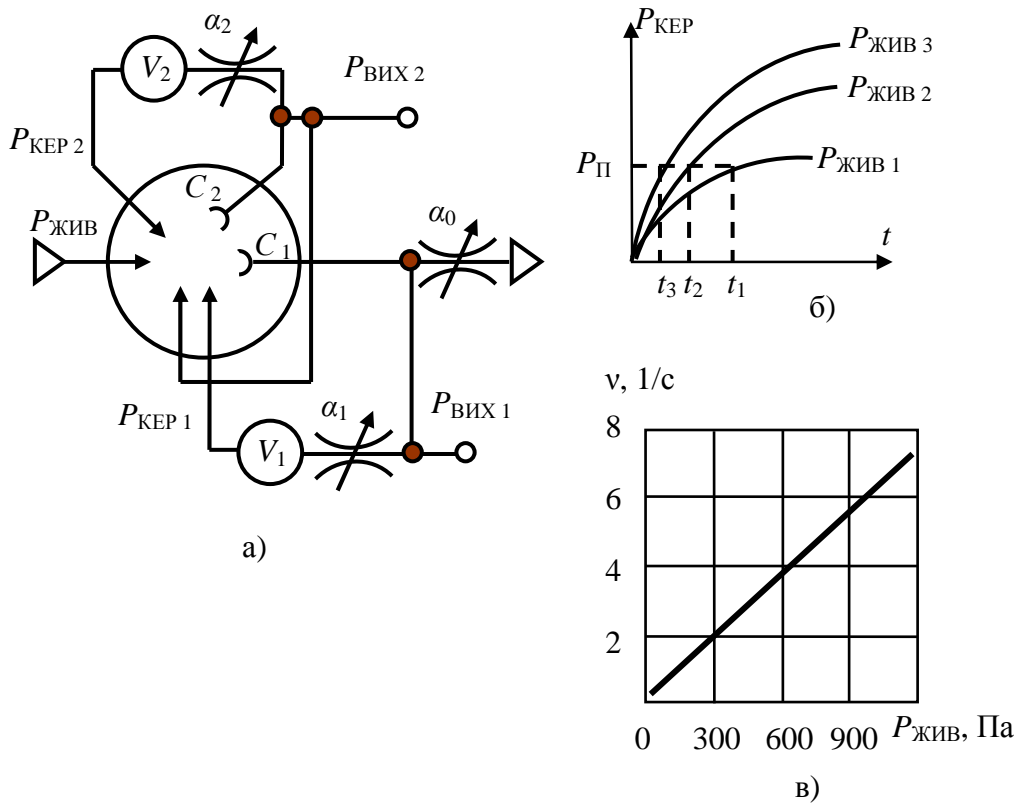


Рис. 149. Схема генератора, побудованого на струминних ефектах:
а) – схема генератора; б) – характеристика, яка показує, як час перемикання залежить від тиску живлення; в) – залежність частоти генератора від тиску живлення

В цій схемі при подачі тиску живлення струмів повітря попадає в сопло C_1 . На виході $P_{ВИХ\ 1}$ формується високий рівень сигналу. Через деякий час, який залежить від провідності дроселя α_1 та об'єму ємності V_1 , на виході керування $P_{КЕР\ 1}$ створиться тиск переключення P_{Π} , який направить струмів повітря із сопла живлення в сопло C_2 . На другому виході генератора з'явиться високий рівень сигналу $P_{ВИХ\ 2} = \ll 1 \gg$, а на першому виході тиск стане дорівнювати низькому рівню сигналу, тобто $P_{ВИХ\ 1} = \ll 0 \gg$. Для стійкої роботи генератора з другого виходу $P_{ВИХ\ 2}$ подається сигнал додат-

ного зворотного зв'язку на другий вхід першого сигналу керування $P_{\text{КЕР } 1}$. Завдяки цьому сигнал на другому виході надійно запам'ятовується. Через час, який залежить від інерційних властивостей другої інерційної ланки, тобто від провідності дроселя α_2 та об'єму ємності V_2 , на другому соплі керування з'явиться другий сигнал керування сигнал $P_{\text{КЕР } 2}$, який знов направить струмінь тиску живлення в сопло C_1 . Почнеться нова фаза генерації імпульсів на виходах $P_{\text{ВИХ } 1}$ та $P_{\text{ВИХ } 2}$. Як видно із рис. 149 б, при майже однаковому тиску переключення P_{Π} час заповнення ємностей до тиску керування $P_{\text{КЕР } 1}$ та тиску керування $P_{\text{КЕР } 2}$ залежить від тиску живлення $P_{\text{ЖИВ}}$. Тому такий генератор можна використовувати при створенні АЦП з частотно-імпульсним перетворенням [8], так як частота генерації у нього залежить від тиску живлення. Причому, залежність частоти коливань від тиску живлення підтримується з точністю до 3 %.

11.9. Генератори, побудовані на ефекті прилипання струменя до стінки

Існують генератори з моностабільним підсилювачем, бістабільним підсилювачем та бістабільним підсилювачем з великим коефіцієнтом підсилення.

На рис. 150 показано, як працює генератор з моностабільним підсилювачем. У цього генератора використовується підсилювач з одним стійким станом. При подачі тиску живлення в канал 1 струмінь повітря прилипає до стінки 2 і потрапляє в канал 3. Поступово, через час, який залежить провідності дроселя α_1 і ємності V_1 у каналі керування 5 виникає тиск керування, який змушує струмінь повітря потрапити в канал приймання 4.

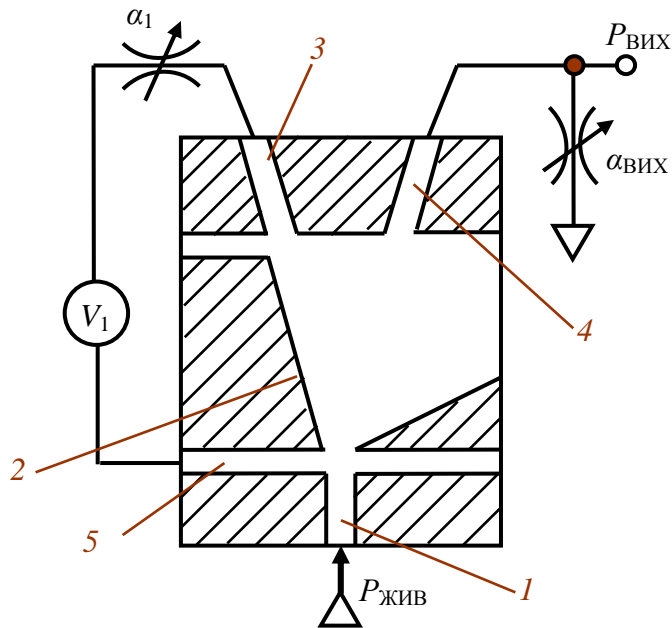


Рис. 150. Схема генератора, побудованого на ефекті прилипання струменя з моностабільним підсилювачем

На виході генератора з'явиться сигнал високого рівня $P_{\text{ВИХ}} = \text{«1»}$. Поступово тиск в ємності V_1 стане дорівнювати нулю і струмінь тиску живлення $P_{\text{ЖИВ}}$ знов прилипне до стінки 2. На виході генератора створиться сигнал низького рівня $P_{\text{ВИХ}} = \text{«0»}$. Цей процес буде відбуватись з частотою від декількох герц до 2,6 кГц [8]. На частотах до 150 Гц коливання будуть мати вигляд прямокутної хвилі. В межах від 150 до 300 Гц це будуть трапецеїдальні коливання. Якщо ж частота досягне значення більше, ніж 300 Гц, то коливання приймуть вигляд синусоїди.

При створенні генератора, побудованого на підсилювачах з двома стійкими станами (бістабільного підсилювача) використовується схема тригера з двома роздільними входами, охопленими зворотними зв'язками. Схема такого генератора приведена на рис. 151. При подачі тиску живлення відбувається прилипання струменя повітря до однієї з стінок, наприклад, до стінки 2. В наслідок цього на першому виході виникне високий рівень сигналу $P_{\text{ВИХ} 1} = \text{«1»}$. Через деякий час, який визначається інерцій-

сигнал прийме значення низького рівня, тобто $P_{\text{вих } 1} = \ll 0 \gg$. Через час, що визначається властивостями дроселя α_2 та ємності V_2 , в каналі 7 створиться тиск перемикавання $P_{\text{п}}$ і відбудеться знов прилипання струменя повітря живлення до стінки 2. На першому виході знов створиться сигнал високого рівня $P_{\text{вих } 1} = \ll 1 \gg$, а на другому виході – сигнал низького рівня $P_{\text{вих } 2} = \ll 0 \gg$. Таким чином, на виходах $P_{\text{вих } 1}$ і $P_{\text{вих } 2}$ буде відбуватись генерація

періодичних трапецеїдальних сигналів з частотами, зсунутими по фазі на 180° і які можна визначити за наступною залежністю⁴:

$$f = \frac{aS}{(2l)^2 \theta^{3/4}} P_{\Pi},$$

де a – постійний коефіцієнт; S і l – площа поперечного перерізу та довжина каналу зворотного зв'язку; θ – абсолютна температура газу; P_{Π} – тиск переключення в каналі зворотного зв'язку. Як видно із залежності, частота коливань f залежить від температури та тиску в каналі зворотного зв'язку. Тому такий генератор можна використовувати в якості перетворювача «температура – частота» та «тиск – частота».

Трохи інакше проходять фізичні процеси в генераторі з бістабільним підсилювачем, але який має великий коефіцієнт підсилення. Схема такого генератора зображена на рис. 152.

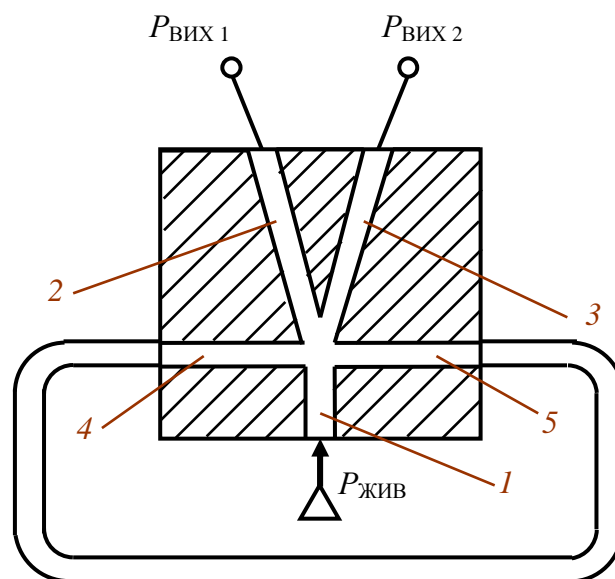


Рис. 152. Схема генератора, побудованого на ефекті прилипання струменя з бістабільним підсилювачем, але з великим коефіцієнтом підсилення

⁴ Ибрагимов И. А., Фарзана Н.Г., Илясов Л.В. Элементы и системы пневмоавтоматики: учебник для вузов по специальности “Автоматизация и комплексная механизация хим.- технол. процессов”. – издание 2-е, перераб. и дополненное, с. 328. М.: Высшая шк., 1985. – 544 с.

При подачі тиску живлення відбувається прилипання струменя повітря, наприклад, до стінки 2. В наслідок цього на першому виході з'являється високий рівень сигналу $P_{\text{вих } 1} = \langle 1 \rangle$. Одночасно із каналу 4 буде відбуватись ежекція повітря (або газу) в канал 2 і виникне деяке розрідження в каналі 5. Між каналами 4 і 5 виникне перепад тиску, який заставить струмінь повітря перекинутись в вихідний канал 3. На другому виході з'явиться сигнал високого рівня $P_{\text{вих } 2} = \langle 1 \rangle$, а на першому виході сигнал стане низького рівня, тобто $P_{\text{вих } 1} = \langle 0 \rangle$. Тепер із каналу 5 буде ежекція повітря в канал 3, а в каналі 4 буде створюватись деяке розрідження. Створиться перепад тиску між каналами 5 і 4, який заставить струмінь повітря знов прилипнути до стінки 2. На першому виході знов з'явиться високий рівень сигналу $P_{\text{вих } 1} = \langle 1 \rangle$, а на другому виході сигнал стане низьким, тобто $P_{\text{вих } 2} = \langle 0 \rangle$. Таким чином, на виходах $P_{\text{вих } 1}$ і $P_{\text{вих } 2}$ буде відбуватись генерація коливань з частотою, яка лежить в межах від декількох Гц до 1 кГц [8].

Існують також струминні аеродинамічні генератори, основані на ефекті прилипання струменя повітря до стінки профілю, подібного до профілю крила літака. Схема такого генератора наведена на рис. 153.

При подачі тиску живлення в сопло 1 відбувається прилипання струменя до профілю 2 і через отвір 3 відбувається заповнення приймальної камери 4 по експоненціальній залежності. Через деякий час, який залежить від об'єму камери 4, тиск в цій камері досягає певного значення і створюється зворотній струмінь повітря, який заставляє основний струмінь відірватись від профілю 2. Тиск в приймальній камері 4 починає спадати по зворотній експоненціальній залежності. Досягнувши нижнього значення, коли струмінь повітря знов прилипне до профілю 2, тиск в камері 4 знов почне зростати. Таким чином, в камері 4 будуть створюватись релаксаційні коливання з нижньою межею і амплітудою, які будуть залежить

від тиску живлення і періодом коливань, який буде залежить від об'єму приймальної камери. За літературними даними [8], такий генератор має розміри $3 \times 5 \times 8$ мм і дозволяє отримати частоту коливань до 1 кГц.

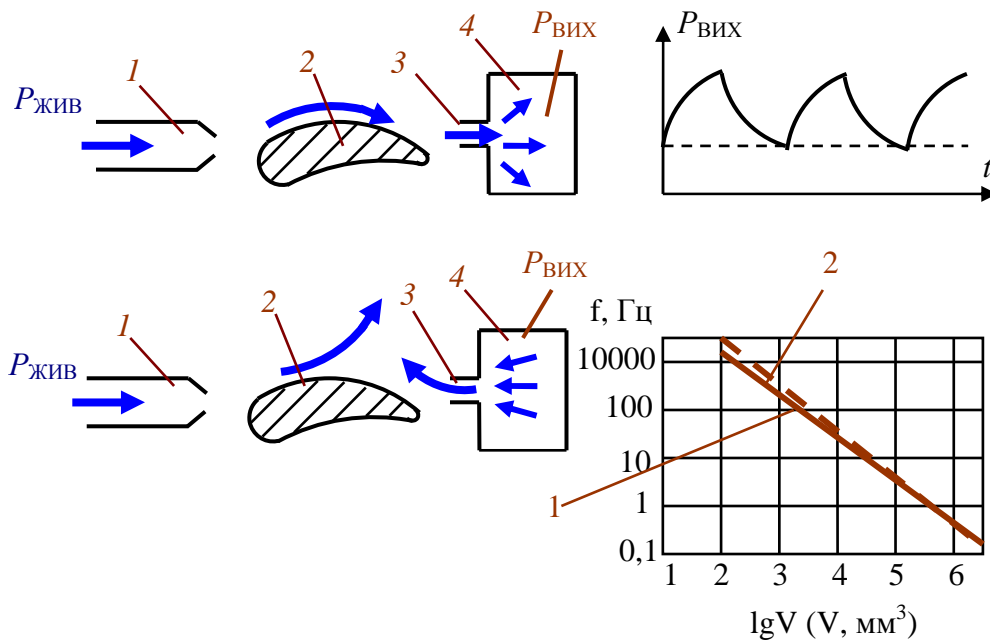


Рис. 153. Схема генератора, побудованого на ефекті прилипання струменя до стінки профілю, подібного до профілю крила літака

Для отримання коливань не тільки з експоненціальними переднім і задніми фронтами, наприклад пилоподібних або вигляду прямокутної хвилі, такі генератори оснащуються додатковими пристроями, описаними в літературі [8].

Існують також генератори, які працюють на явищі турбулізації ламинарного струменя, контрвихрові генератори, кільцеві генератори, щілинні генератори, генератори коливань ножових (крайових) тонів та ін. [8].

11.10 Пневмоакустичні генератори

До найбільш поширених пневмоакустичних генераторів належать генератори, побудовані на свистку Гартмана та генератори на свистках з циліндричним резонатором. Будова генератора на свистку Гартмана показана на рис. 154.

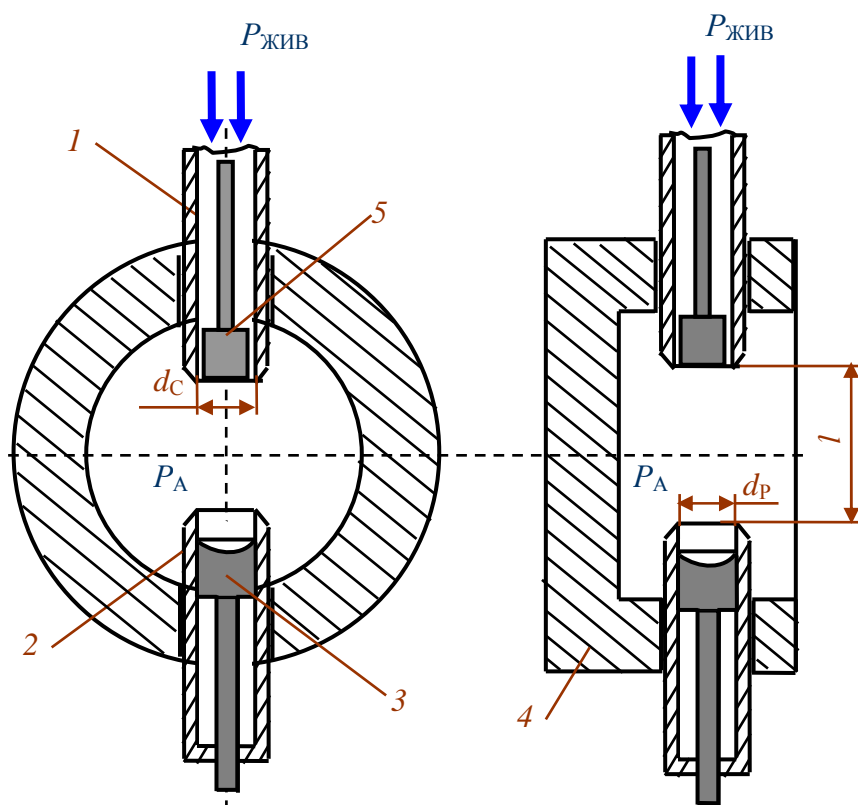


Рис. 154. Конструкція генератора, побудованого на свистку Гартмана

Такий генератор складається з сопла живлення 1, резонатора 2, рухомого поршня 3 з вогнутим торцем у вигляді циліндричної поверхні, корпусу 4, вкладиша 5. При подачі тиску живлення із кільцевого отвору розміром 0,15...0,2 мм, створеного стінками сопла 1 та вкладиша 5 виривається струмінь повітря, який розширюючись, набуває надзвукової швидкості. При створенні режиму критичного витікання газу, коли відношення тисків буде $P_A / P_{\text{ЖИВ}} \leq 0,528$, в струмені повітря створюються скачки згущення,

які мають вигляд періодичних поверхонь розриву. Ці поверхні, які по чергово змінюються і створюють просторову осциляцію струменя, викликають коливання з довжиною хвилі

$$\lambda = 0,89 d_c \sqrt{1,02 P_{\text{жив}} - 0,9},$$

де $P_{\text{жив}}$ – тиск живлення, МПа; d_c – діаметр сопла, см; λ – довжина хвилі. Режим витікання із сопла регулюють за допомогою рухомого поршня 3 та відстані l між соплом та резонатором. Для визначення відстані l користуються залежністю

$$l = a + 0,6 (\lambda - a),$$

де

$$a = d_c [1 + 0,041(0,2 P_{\text{жив}} - 0,93)^2].$$

Генератор на свистку з циліндричним резонатором складається з прямокутного сопла 1, циліндричного резонатора 2 та ножа 3.

У цих свистках генерація коливань виникає тоді, коли ніж 3 є краєм резонансної камери 2 (рис. 155). При нормальних умовах роботи звук приймає майже синусоїдальну форму та не має сторонніх гармонік.

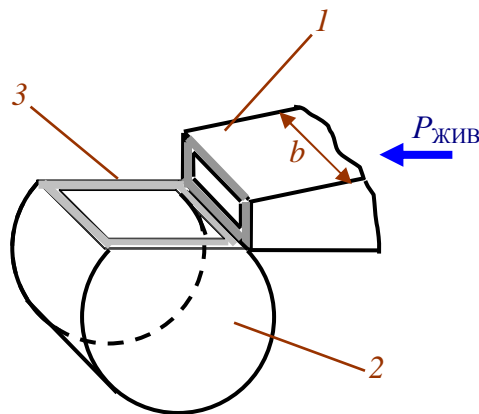


Рис. 155. Генератор на свистку з циліндричним резонатором

Частота його коливань визначається наступною залежністю:

$$f = [u_{зв} / (2\pi)] \sqrt{kb/V},$$

де $u_{зв}$ – швидкість звука; b – ширина сопла; V – об’єм камери резонатора; k – коефіцієнт, значення якого лежить в межах $0,7 \dots 0,8$.

При збільшенні тиску живлення $P_{жив}$ з’являється «звук струменя» та «звук ножа», підсилені резонатором. Причому основна гармоніка не випромінюється, а мають місце ультразвукові коливання.

11.11. Струминно-механічні генератори

Один з різновидів такого генератора наведено на рис. 156.

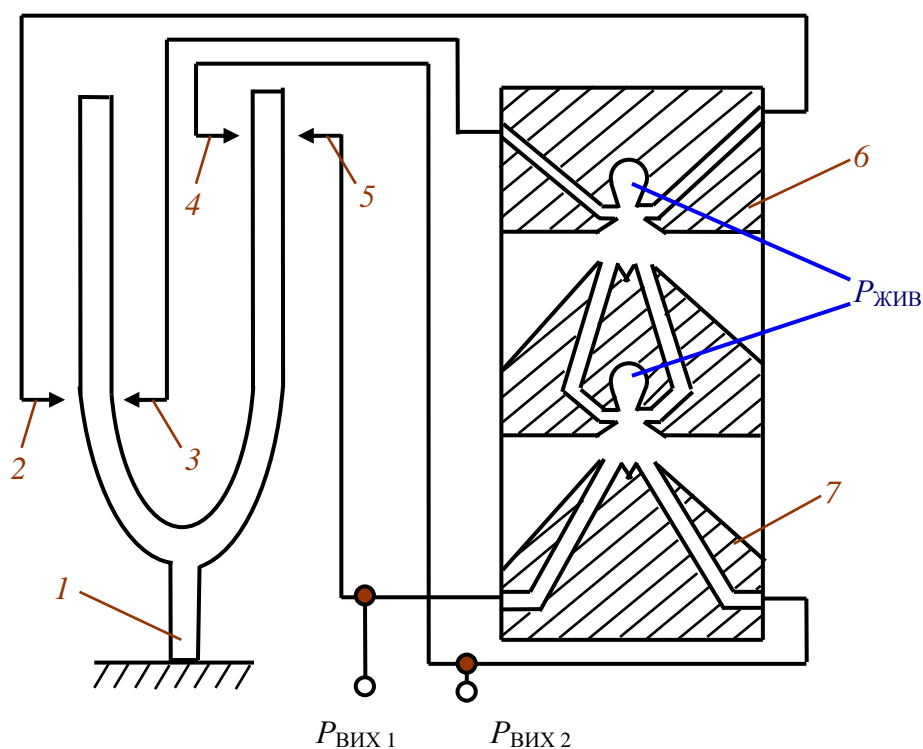


Рис. 156. Струминно-механічний генератор з резонатором у вигляді камертона

У цього генератора в якості механічного задавача коливань використовується камертон. При подачі тиску живлення струмін повітря потрапляє в один із каналів підсилювача 7 і далі створює керуючий вплив за допомогою сопел 4 чи 5. Наприклад, під дією керуючого сопла 5 камертон 1

зміщується в сторону сопла 2 і затуляє його. Тиск в правому керуючому каналі підсилювача 6 збільшується і змушує потрапити струмінь повітря в правий канал підсилювача 7. Цей тиск поступає на сопло і створює зусилля, яке зміщує камертон у зворотному напрямку. Сопло 3 прикривається, а сопло 2 – відкривається. Тепер в лівому каналі підсилювача 6 створюється тиск керування, а в правому каналі відбувається спад тиску. Струмінь повітря із підсилювача 6 потрапляє в лівий канал підсилювача 7, створюючи тиск керування на соплі 5. Камертон зміщується в першопочаткову ліву сторону і знов затуляє сопло 2 та відкриває сопло 3. В наслідок цих процесів на виходах $P_{\text{вих } 1}$ і $P_{\text{вих } 2}$ будуть створюватись гармонійні коливання.

На рис. 157 наведена конструкція струминно-механічного генератора з механічним резонатором у вигляді пружної пластини.

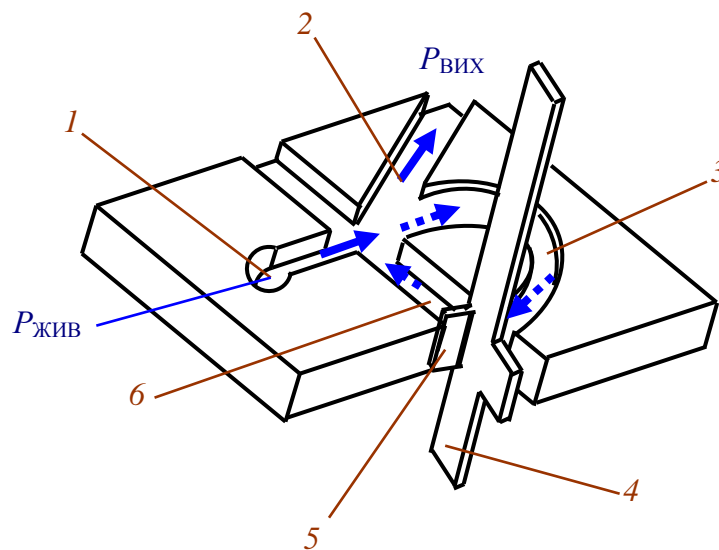


Рис. 157. Конструкція струминно-механічного генератора з механічним резонатором у вигляді пружини

У такого генератора тиск живлення із каналу 1 може потрапити в канал 2 або 3. Якщо він потрапляє в канал 3, то , проходячи пружну пластину 4 він діє на заслінку 5 і змушує обертатися цю пружну пластину. В

наслідок цього в каналі керування 6 створюється тиск керування, який заставляє силовий струмінь повітря або газу потрапити в канал 2. На виході генератора з'являється сигнал високого рівня $P_{\text{вих}} = \langle 1 \rangle$. Так як в каналі 3 тиск падає, то пружина 4 займає початковий стан і заслінка 5 перекриває канал 6. Тиск живлення знов потрапляє в канал 3 і на виході тиск приймає значення низького рівня $P_{\text{вих}} = \langle 0 \rangle$. Далі весь процес повторюється з частотою, яка залежить від пружних властивостей пружини 4 і визначається частотою власних коливань цієї пружини.

12. ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

12.1. Розроблення схем автоматизації. Схеми контролю та керування хіміко-технологічними процесами

12.1.1. Призначення схем автоматизації та загальні принципи їх виконання

Схема автоматизації (поширеною в практичному використанні залишається «стара» назва: функціональна схема автоматизації, особливо у її скороченому варіанті – ФСА) – основний технічний документ, який визначає функціонально-блочну структуру окремих вузлів автоматичного контролю, керування і регулювання технологічного процесу та оснащення об'єкта керування приладами і засобами автоматизації, зокрема засобами телемеханіки та обчислювальної техніки.

На схемах автоматизації зображують:

- 1) технологічне та інженерне обладнання і комунікації (трубопроводи, газоходи, повітропроводи) об'єкта, що автоматизується;
- 2) технічні засоби автоматизації, що утворюють контури контролю, регулювання та керування⁵;
- 3) лінії зв'язку між окремими технічними засобами автоматизації або контурами.

Об'єктом керування в системах автоматизації технологічних процесів є сукупність основного та допоміжного устаткування разом із вмонтованими в нього запірними та регулювальними органами, а також енергії, сировини й інших матеріалів, що визначаються особливостями технології. Створення ефективних систем автоматизації передбачає потребу в поглибленому вивчен-

⁵ *Контур контролю, регулювання та керування* – це сукупність окремих функціонально поєднаних приладів, які виконують певне завдання з контролю, регулювання, сигналізації, керування тощо.

ні технологічного процесу не лише проектувальниками, а й спеціалістами монтажних, налагоджувальних та експлуатаційних організацій.

У процесі розроблення схем автоматизації технологічних процесів потрібно забезпечити⁶:

- отримання первинної інформації про стан технологічного процесу та устаткування;
- безпосередній вплив на технологічний процес для керування ним;
- стабілізацію технологічних параметрів процесу;
- контроль та реєстрацію технологічних параметрів процесу та стану технологічного устаткування.

Зазначені завдання вирішують на підставі аналізу умов роботи технологічного устаткування, виявлених законів та критеріїв керування об'єктом, а також вимог до точності стабілізації, контролю і реєстрації технологічних параметрів, до якості регулювання і надійності.

Функціональні завдання автоматизації зазвичай реалізують за допомогою різних технічних засобів, зокрема: відбірних пристроїв, засобів отримання первинної інформації, засобів перетворення та обробки інформації, засобів подання інформації обслуговуючому персоналу, комбінованих, комплектних та допоміжних пристроїв.

До результатів складання схем автоматизації належить:

- обрання методів вимірювання технологічних параметрів;
- обрання основних технічних засобів автоматизації, які найбільш повно відповідають вимогам та умовам роботи об'єкта, що автоматизується;
- визначення приводів виконавчих механізмів регулювальних та запірних органів технологічного устаткування, керованого автоматично або дистанційно;

⁶ Загальні правила виконання схем автоматизації регламентує ДСТУ Б А.2.4-3:2009 «СПДБ. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів», чинний від 23.01.2009.

розміщення засобів автоматизації на щитах, пультах, технологічному устаткуванні, трубопроводах тощо та визначення способів подання інформації про стан технологічного процесу й устаткування, виготовлення іншої проектної документації (схем зовнішніх з'єднань, схем щитів і пультів, монтажно-комутаційних схем тощо).

Сучасний розвиток усіх галузей промисловості характеризується великим розмаїттям технологічних процесів. Практично не обмежені й умови їх застосування та вимоги до керування й автоматизації. Однак, спираючись на досвід проектування систем керування та автоматизації, можна сформулювати деякі *загальні принципи*, якими слід керуватися, розробляючи схеми автоматизації:

1) рівень автоматизації технологічного процесу в кожен проміжок часу має визначатися не лише доцільністю впровадження певного комплексу технічних засобів та досягнутим рівнем науково-технічних розробок, а й перспективою модернізації та розвитку цих технологічних процесів;

2) під час розроблення схем автоматизації, а також вибираючи технічні засоби, слід урахувати: вид та характер технологічного процесу, умови пожежо- та вибухобезпеки, агресивність і токсичність навколишнього та робочого середовищ тощо; параметри та фізико-хімічні властивості вимірюваного середовища; відстань від місця встановлення датчиків, допоміжних пристроїв, виконавчих механізмів, приводів машин та запірних органів до пунктів керування та контролю; потрібну точність та швидкодію засобів автоматизації;

3) систему автоматизації технологічних процесів потрібно будувати на базі засобів автоматизації та обчислювальної техніки, що виробляються серійно. Намагатись застосовувати однотипні засоби автоматизації і віддавати перевагу уніфікованим системам, які характеризуються простотою поєднання, взаємозамінністю та зручністю компонування на

щитах керування. Використання однотипної апаратури дає значні переваги під час монтажу, налагодження, експлуатації, забезпечення запасними частинами тощо;

4) добираючи локальні засоби збирання та нагромадження первинної інформації (автоматичні датчики), вторинні прилади, регулювальні та виконавчі пристрої, використовувати переважно прилади та засоби автоматизації Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації;

5) вибираючи засоби автоматизації, що використовують допоміжну енергію (електричну, пневматичну, гідравлічну), керуватися умовами пожежо- та вибухобезпеки об'єкта, що автоматизується, агресивністю навколишнього середовища, вимогами до швидкодії, дальності передачі сигналів інформації та команд керування тощо;

6) обмежувати кількість приладів, апаратури керування і сигналізації, які монтуються на оперативних щитах і пультах. Надлишок апаратури ускладнює експлуатацію, відвертає увагу обслуговуючого персоналу від спостереження за основними параметрами, що визначають хід технологічного процесу, збільшує вартість установки, терміни монтажних та налагоджувальних робіт. Прилади і засоби автоматизації допоміжного призначення доцільніше розміщувати на окремих щитах поблизу технологічного устаткування.

Наведені принципи загальні, але не вичерпні для всіх випадків, які можуть траплятися в практиці проектування систем автоматизації технологічних процесів. Однак для кожного конкретного випадку їх потрібно враховувати в реалізації технічного завдання на автоматизацію проектованого об'єкта.

12.1. 2. Графічне зображення технологічного устаткування та комунікацій

Технологічне та інженерне обладнання на схемах автоматизації зображають відповідно до ГОСТ 2.780, ГОСТ 2.782, ГОСТ 2.788, ГОСТ 2.789, ГОСТ 2.790 – ГОСТ 2.795, комунікації залежно від транспортованих у них середовищ – до додатка 3 ГОСТ 14202–69.

Під час розроблення схем автоматизації технологічне устаткування та комунікації зображають зазвичай без наведення окремих технологічних апаратів і трубопроводів допоміжного призначення. Однак зображена таким чином технологічна схема має давати чітке уявлення про принцип її роботи та взаємодію із засобами автоматизації.

Технологічні апарати і трубопроводи допоміжного призначення показують лише у випадках, коли вони механічно з'єднані чи взаємодіють із засобами автоматизації. В окремих випадках деякі елементи технологічного устаткування допускається зображувати на схемах автоматизації у вигляді прямокутників із зазначенням назв цих елементів або не показувати зовсім.

На технологічних трубопроводах зазвичай показують ту регулювальну та запірну арматуру, яка безпосередньо бере участь у контролі та керуванні процесом, а в місцях, де передбачається встановлення відбірних пристроїв і регулювальних органів, зазначають діаметри умовних проходів.

Технологічні комунікації і трубопроводи рідин та газів зображують умовними позначеннями (нумерують) відповідно до ГОСТ 2.784–96, наведеними в табл. 10.1. Для більш детального розкриття характеру середовища до цифрового позначення може додаватися літерний індекс, наприклад, вода чиста – 1ч, пара перегріта – 2п, пара насичена – 2н тощо. Умовні числові позначення трубопроводів слід проставляти в розривах ліній,

що зображають трубопроводи, на відстані, не меншій ніж 50 мм один від одного.

Таблиця 10.1. Умовні цифрові позначення трубопроводів для рідин та газів

Назва середовища, транспортованого трубопроводом	Позначення трубопроводу
1	2
Вода	1
Пара	2
Повітря	3
Азот	4
Кисень	5
Інертні гази:	
Аргон	6
Неон	7
Гелій	8
Криптон	9
Ксенон	10
Аміак	11
Кислота (окиснювач)	12
Луг	13
Масило	14
Рідке паливо	15
Горючі та вибухонебезпечні гази:	
Водень	16
Ацетилен	17
Фреон	18
Етан	19
Метан	20
Етилен	21
Пропан	22
Пропілен	23
Бутан	24
Бутилен	25
Протипожежний трубопровід	26
Вакуум	27

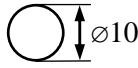
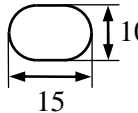
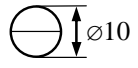
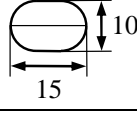
Деталі трубопроводів, арматуру, теплотехнічні та санітарно-технічні пристрої й апаратуру показують умовними позначеннями згідно з чинними стандартами. Для рідин і газів, не наведених у табл. 10.1, дозволено вико-

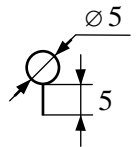

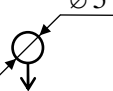

ристовувати для позначення інші цифри (починаючи з 28), але обов'язково з необхідними поясненнями введених умовних позначень.

12.1. 3. Графічне зображення засобів вимірювання та автоматизації

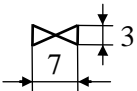
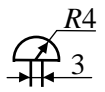
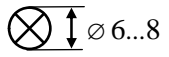
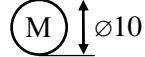
Прилади, засоби автоматизації, електричні пристрої та елементи обчислювальної техніки на схемах автоматизації зображають відповідно до Міждержавного стандарту ДСТУ Б А.2.4-3:2009 та галузевих нормативних документів. Якщо у стандартах немає потрібних зображень, дозволено застосовувати нестандартні зображення, які слід виконувати на основі характерних ознак зображуваних пристроїв. Наведені стандарти визначають систему побудови графічних (табл. 10.2) та літерних (табл. 10.3 – 10.5) умовних позначень за функціональними ознаками приладів. Складні прилади, які виконують декілька функцій, можна зображувати декількома дотичними колами.

Таблиця 10.2. Розміри графічних умовних позначень приладів, засобів автоматизації та електроапаратури

Назва	Позначення
1	2
Первинний вимірювальний перетворювач (датчик): засіб вимірювання, що встановлюється поза щитом (місцевого розміщення) на технологічному трубопроводі, апараті, стіні, підлозі, колоні, металоконструкції: а) базове позначення; б) допустиме позначення	а)  $\varnothing 10$ б)  15 10
Прилад, установлений на щиті, пульті: а) базове позначення; б) допустиме позначення	а)  $\varnothing 10$ б)  15 10

Виконавчий механізм. Загальне позначення. Положення регулювального органа у разі припинення подачі енергії чи керувального сигналу не показується	
Виконавчий механізм, який у разі припинення подачі енергії чи керувального сигналу: а) відкриває регулювальний орган; б) закриває регулювальний орган; в) не змінює стану регулювального органа	а)  б)  в) 

Закінчення табл. 5.2

1	2
Регулювальний орган	
Дзвінок електричний	
Лампа розжарювання (освітлювальна та сигнальна)	
Машина електрична (М – двигун, Г – генератор)	

Таблиця 10.3. Літерні умовні позначення

Вимірювана величина			Функції, виконувані приладом		
Позначення	Основне значення першої літери	Додаткове значення, що уточнює значення першої літери	Відображення інформації	Формування вихідного сигналу	Додаткове значення
1	2	3	4	5	6
A	+	-	Сигналізація	-	-
B	+				
C	+	-	-	Регулювання, керування	-
D	Густина	Різниця, перепад	-	-	-
E	Будь-яка електрична величина	-	+	-	-
F	Витрата	Співвідношення, частка, дріб	-	-	-
G	Розмір, положення, переміщення	-	+	-	-

<i>H</i>	Ручний вплив	-	-	-	Верхня границя вимірюваної величини
<i>I</i>	+	-	Показання	-	-
<i>J</i>	+	Автоматичне перемикання, оббігання	-	-	-
<i>K</i>	Час, часова програма	-	-	+	-
<i>L</i>	Рівень	-	-	-	Нижня границя вимірюваної величини

Закінчення табл. 10.3

1	2	3	4	5	6
<i>M</i>	Вологість	-	-	-	-
<i>N</i>	+	-	-	-	-
<i>O</i>	+	-	-	-	-
<i>P</i>	Тиск, вакуум	-	-	-	-
<i>Q</i>	Величина, що характеризує якість, склад, концентрацію	Інтегрування, підсумовування в часі	-	+	-
<i>R</i>	Радіоактивність	-	Реєстрація	-	-
<i>S</i>	Швидкість, частота	-	-	Вмикання, вимикання, перемикання	-
<i>T</i>	Температура	-	-	+	-
<i>U</i>	Декілька різнорідних вимірюваних величин	-	-	-	-
<i>V</i>	В'язкість	-	+	-	-
<i>W</i>	Маса	-	-	-	-
<i>X</i>	Нерекомендована резервна літера	-	-	-	-
<i>Y</i>	+	-	-	+	-
<i>Z</i>	+	-	-	+	-

Примітка. Літерні позначення, помічені знаком «+», використовують як резервні, а помічені знаком «-» – не використовують.

**Таблиця 10.4. Додаткові літерні позначення,
що відображають функціональні ознаки приладів**

Назва	Позначення
Чутливий елемент (первинне перетворення)	E
Дистанційне передавання (проміжне перетворення)	T
Станція керування	K
Перетворення; обчислювальні функції	Y

10.5. Додаткові літерні позначення, що відображають функціональні ознаки перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв

Назва	Позначення
1	2
<i>Рід сигналу:</i> Електричний	E
Пневматичний	P

Закінчення табл. 5.5

1	2
<i>Рід сигналу:</i> Електричний	E
Пневматичний	P
Гідравлічний	G
<i>Види сигналу:</i> Аналоговий	A
Дискретний	D
<i>Операції, що виконуються обчислювальним пристроєм:</i> Додавання	Σ
Множення сигналу на постійний коефіцієнт K	K
Множення двох чи більше сигналів	\times
Ділення сигналів	$:$
Піднесення сигналу до n -го степеня	f^n
Добування з сигналу кореня n -го степеня	$\sqrt[n]{f}$
Логарифмування	\lg
Диференціювання	dx / dt
Інтегрування	\int
Зміна знака сигналу	$\times(-1)$
Обмеження верхнього значення сигналу	\max
Обмеження нижнього значення сигналу	\min
Уведення сигналу в ЕОМ	B_i
Виведення інформації з ЕОМ	B_0

12.1.4. Методика побудови умовних графічних позначень засобів автоматизації

Методика побудови графічних умовних позначень для спрощеного і розгорнутого способів спільна (рис. 158.1). У верхню частину кола вписують літерні позначення вимірюваної величини та функціональної ознаки приладу. В нижню частину кола вписують позиційне позначення (цифрове чи літерно-цифрове), що служить для нумерації контура контролю чи регулювання (за спрощеного способу побудови схеми автоматизації) або окремих елементів контура (за розгорнутого способу).

Послідовність розміщення літерних позначень у верхній частині (зліва направо) має бути таким: позначення основної вимірюваної величини; позначення, що уточнює (у разі потреби) основну вимірювану величину; позначення функціональних ознак приладу. Функціональні ознаки (якщо їх декілька в одному засобі автоматизації) розміщують у послідовності, показаній на рис. 154.1.

Створюючи умовні позначення приладів, слід вказувати не всі функціональні ознаки приладу, а лише використовувані в схемі. Так, позначаючи показувальні та самописні прилади (якщо функція «показання», тобто індикації, поточного значення вимірюваної величини не використовується), слід писати *TR* замість *TIR*, *PR* замість *PIR* тощо.

В обґрунтованих випадках (наприклад, у позиційних позначеннях, що складаються з великої кількості знаків) для позначення первинних перетворювачів і приладів замість кола можна застосовувати позначення у вигляді еліпса (див. п. 1, б та 2, б табл. 10.2).

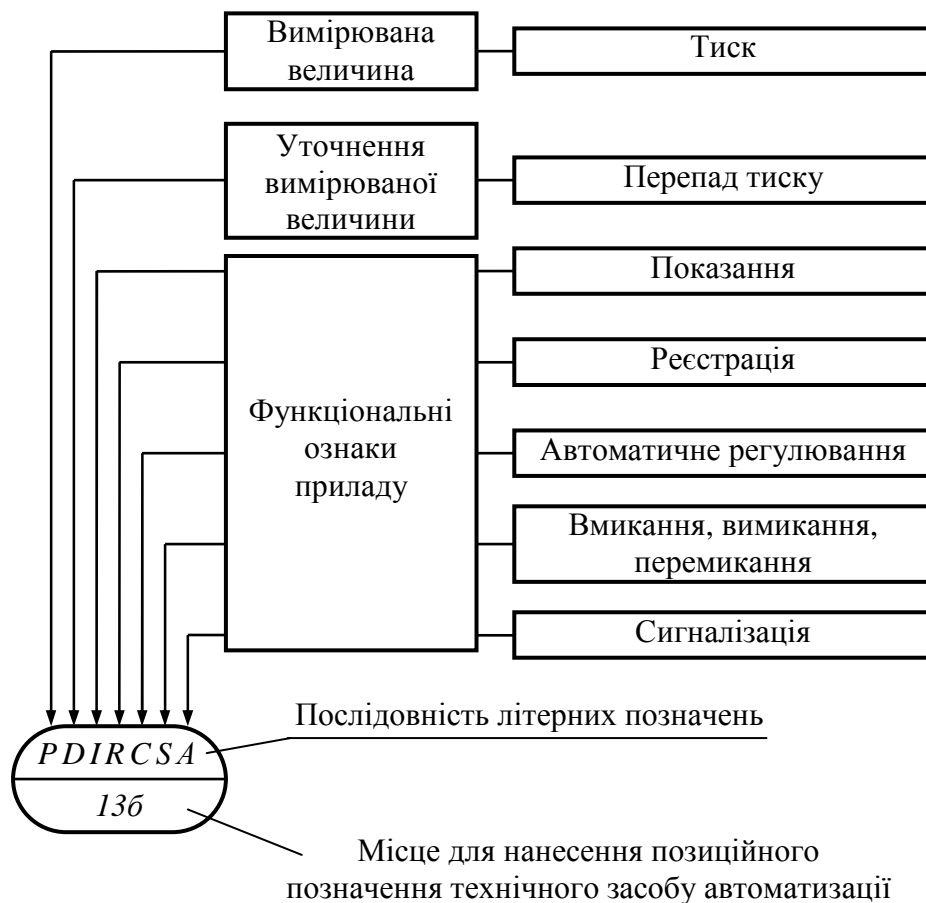


Рис. 158.1. Приклад побудови умовного позначення технічного засобу автоматизації

Приклади побудови умовних позначень приладів і засобів автоматизації відповідно до ДСТУ Б А.2.4-3:2009 наведено в табл. 17.6. Використовуючи літерні умовні позначення ДСТУ Б А.2.4-3:2009, слід керуватись такими правилами.

1. Літеру *A* (див. табл. 10.3) застосовувати для позначення функції «сигналізація» незалежно від того, чи винесено сигнальну апаратуру на якийсь щит, а чи її вмонтовано у сам прилад. У разі потреби додають символи ламп, гудка, дзвінка тощо.
2. Літеру *S* застосовувати для позначення контактного пристрою (тільки для вмикання, вимикання, перемикання, блокування). Літерою *S* не позначають функції регулювання (зокрема позиційного). У разі застосування

контактного пристрою для вмикання, вимикання і одночасно для сигналізації в позначенні приладу мають бути обидві літери – S і A .

Граничнодопустимі значення вимірюваних величин, якими керуються для вмикання, вимикання, блокування чи сигналізації, слід конкретизувати додаванням літер H і L . Останні наносити поза графічним позначенням, праворуч від нього (див. табл. 10.6, п. 26, 28).

3. Для конкретизації вимірюваної величини, що може мати кілька значень, біля зображення приладу (праворуч від нього) слід зазначати назву чи символ вимірюваної величини, наприклад, «напруга» або U , «струм» або I , рН, O_2 тощо (див. табл. 10.6, п. 33–35, 38–40).

4. У разі потреби біля зображення приладу допускається зазначати вид радіоактивності, наприклад α -, β - чи γ -випромінювання (див. табл. 10.6, п. 41).

5. Літеру U можна використовувати для позначення приладу, що вимірює декілька різнорідних величин. Детальне розшифрування вимірюваних величин має бути наведено біля приладу чи на полі креслення (див. табл. 10.6, п. 43).

6. Для позначення величин, не передбачених стандартом, можна використати резервні літери. Часто застосовувані величини слід позначати однією й тією самою резервною літерою. Для одноразового (виняткового) застосування можна використати літеру X . Застосовані резервні літерні позначення мають бути розшифровані на схемі. Не допускається в одній і тій самій документації однією резервною літерою позначати різні величини.

7. Для позначення додаткових значень великі літери D , F , Q , T допускається замінювати на малі d , f , q , t .

8. В окремих випадках, коли позиційне позначення приладу не вміщується в коло його графічного зображення, допускається наносити його поза колом (див. табл. 10.6, п. 52).

9. Літера *E* як додаткове позначення (див. табл. 10.6) застосовується для позначення чутливих елементів, тобто пристроїв, які виконують первинне перетворення, наприклад, первинних термоелектричних перетворювачів (термопар), термоперетворювачів опору (термометрів опору), датчиків пірометрів, звужувальних пристроїв витратомірів, датчиків акустичних рівнів тощо.

10. Літера *T* означає проміжне перетворення – дистанційне передавання сигналу. Її рекомендується застосовувати для позначення приладів з дистанційним передаванням показань, наприклад, безшкальних манометрів (дифманометрів), ротаметрів з дистанційним передаванням сигналів тощо.

11. Літеру *K* застосовують для позначення приладів, які мають станцію керування, тобто перемикач вибору виду керування «автоматичне» ↔ «ручне».

12. Літеру *Y* рекомендується застосовувати для позначень перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв, при цьому для конкретизації функціональної ознаки перетворювачів сигналів та обчислювальних пристроїв біля зображення технічного засобу відповідним символом (див. табл. 10.6, п. 46, 47) слід вказати вид перетворення (P/E , E/E , A/D тощо) чи обчислювальної операції (див. табл. 10.5).

13. Такої конкретизації потребує й літера *Q*: вгорі, праворуч від зображення технічного засобу потрібно вказати, який саме якісний параметр він вимірює, наприклад, рН, якщо це вимірювач рН, O_2 – якщо це аналізатор концентрації кисню тощо.

14. Послідовність побудови умовних позначень із застосуванням додаткових літер така: спочатку ставиться літера, якою позначають вимірювану величину, на другому – одна з додаткових літер: *E*, *T*, *K* чи *Y*; наприклад, первинні вимірювальні перетворювачі температури (термоелектричні пере-

творювачі, термоперетворювачі опору та ін.) позначаються через TE , первинні вимірювальні перетворювачі витрат (звужувальні пристрої, датчики індукційних витратомірів, ротаметрів тощо) – FE ; безшкальні витратоміри з дистанційним передаванням – FT і т. д.

15. У разі застосування позначень з табл. 10.5 написи, що розшифровують вид перетворення чи операції, які виконуються обчислювальним пристроєм, вказувати праворуч від графічного зображення приладу.

16. В обґрунтованих випадках для уникнення неправильного розуміння схеми допускається замість умовних позначень наводити повну назву перетворюваних сигналів. Таким чином, рекомендується позначати деякі специфічні сигнали, або ті, що рідко використовуються, наприклад, кодовий, часоімпульсний, числоімпульсний тощо.

17. У разі побудови позначень комплектів засобів автоматизації перша літера в позначенні кожного приладу, що входить в комплект, є назвою вимірюваної комплектом величини. Наприклад, у комплекті для вимірювання та регулювання температури первинний вимірювальний перетворювач потрібно позначати через TE , вторинний реєструвальний прилад – TR , регулювальний блок – TC і т. д.





У побудові умовних позначень згідно з ДСТУ Б А.2.4-3:2009 передбачено такі винятки:

– у всіх пристроях, що виконані як окремі блоки і призначені для ручних операцій, на першому місці в позначенні ставлять літеру H незалежно від того, до складу якого вимірювального комплекту вони входять, наприклад, перемикачі електричних кіл вимірювання (керування), перемикачі газових (повітряних) ліній позначають через HS , панелі дистанційного керування – HC , кнопки (ключі) для дистанційного керування, ручні задатчики – H , кнопки (ключі) для дистанційного керування з підсвіткою – HA тощо;

- для комплекту, призначеного для вимірювання декількох різнорідних величин, первинні вимірювальні перетворювачі (датчики) позначають відповідно до вимірюваної величини, а вторинний прилад – *UR* (з відповідним доповненням, як це показано в п. 43 табл. 10.6);
- в окремих випадках для позначень комплектів, призначених для вимірювання якості непрямим методом, перша літера в позначенні датчика може відрізнятися від першої літери в позначенні вторинного приладу. Наприклад, якщо для вимірювання якості продукту використовують метод температурної депресії (датчиками температури при цьому є термометри опору, вторинним приладом – автоматичний міст), то позначення цього комплекту буде таким: датчики – *TE*, вторинний прилад – *QR* (див. поз. 10-1, 10-2, 10-3 на рис. 158.2).

Таблиця 10.6. Приклади побудови умовних позначень приладів і засобів автоматизації

Порядковий номер	Назва	Позначення
1	2	3
1	Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання температури місцевий (перетворювач термоелектричний або термоперетворювач опору, термобалон манометричного термометра, датчик пірометра тощо)	\textcircled{TE}
2	Прилад для вимірювання температури показувальний місцевий (наприклад, термометр розширення)	\textcircled{TI}
3	Прилад для вимірювання температури показувальний, встановлений на щиті (мілівольтметр, логометр, потенціометр, міст автоматичний тощо)	$\textcircled{\frac{TI}{}}$
4	Прилад місцевий для вимірювання температури безшкальний, з дистанційним передаванням показань (термометр манометричний безшкальний з пневмо- чи електропередачею сигналу)	\textcircled{TT}
5	Прилад для вимірювання температури одноточковий реєструвальний (самописний), установлений на щиті (логометр, потенціометр, міст автоматичний і т. ін.)	$\textcircled{\frac{TR}{}}$
6	Прилад для вимірювання температури з автоматичним об'їгальним пристроєм реєструвальний, установлений на щиті (потенціометр триточковий самописний, міст автоматич-	$\textcircled{TJR} \times 3$

	ний самописний триточковий тощо)	
7	Регулятор температури безшкальний місцевий (наприклад, дилатометричний регулятор температури)	
8	Комплект для вимірювання температури самописний регулювальний, оснащений станцією керування, встановлений на щиті (наприклад, пневматичний вторинний прилад і регулювальний блок системи СТАРТ)	
9	Прилад для вимірювання температури, безшкальний, з контактним пристроєм, місцевий (наприклад, термореле)	
10	Панель дистанційного ручного керування (електрична чи пневматична), встановлена на щиті	

Продовження табл. 10.6

1	2	3
11	Перемикач електричних каналів вимірювання (керування) або перемикач для газових чи повітряних ліній, установлений на щиті	
12	Прилад для вимірювання тиску (розрідження) показувальний місцевий (будь-який показувальний манометр, дифманометр, тягомір, напоромір, вакуумметр тощо)	
13	Прилад для вимірювання перепаду тиску показувальний місцевий (наприклад, дифманометр показувальний)	
14	Прилад для вимірювання тиску (розрідження) безшкальний з дистанційним передаванням показань місцевий (наприклад, манометр або дифманометр безшкальні з пневмо- чи електропередачею сигналу)	
15	Прилад для вимірювання тиску (розрідження) безшкальний реєструвальний, установлений на щиті (наприклад, самописний манометр чи будь-який самописний прилад для реєстрації тиску)	
16	Прилад місцевий для вимірювання тиску з контактним пристроєм (наприклад, реле тиску)	
17	Прилад місцевий для вимірювання тиску (розрідження) показувальний з контактним пристроєм (наприклад, електроконтактні манометр, вакуумметр та ін.)	
18	Регулятор тиску, що працює без використання стороннього джерела енергії (регулятор тиску прямої дії, місцевий)	
19	Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання витрати місцевий (діафрагма, сопло, труба Вентурі, датчик індукційного витратоміра тощо)	
20	Прилад для вимірювання витрати безшкальний з дистанційним передаванням показань місцевий (наприклад, безшкальний дифманометр-витратомір або ротаметр з пневмо- чи електропередачею сигналів)	

21	Регулятор співвідношення витрат, установлений на щиті (наприклад, блок регулювання співвідношення витрат системи СТАРТ)	\textcircled{FFC}
22	Прилад для вимірювання витрати показувальний місцевий (наприклад, дифманометр чи ротаметр показувальні)	\textcircled{FI}
23	Прилад для вимірювання витрати показувальний інтегровальний місцевий (наприклад, будь-який лічильник-витратомір з інтегратором або показувальний дифманометр-витратомір із вмонтованим інтегратором)	\textcircled{FQI}
24	Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання рівня місцевий (наприклад, первинний вимірювальний перетворювач електричного чи акустичного рівнемірів)	\textcircled{LE}
25	Прилад для вимірювання рівня показувальний місцевий (наприклад, дифманометр для вимірювання рівня)	\textcircled{LI}


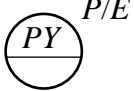



Продовження табл. 10.6

1	2	3
26	Прилад для вимірювання рівня з контактним пристроєм місцевий (наприклад, датчик-реле рівня, використовуваний для сигналізації; літера H означає, що здійснюється сигналізація тільки верхнього граничного значення рівня)	\textcircled{LA}^H
27	Прилад для вимірювання рівня безшкальний з дистанційним передаванням показань місцевий (наприклад, дифманометр-рівнемір безшкальний з пневмо- чи електропередачею сигналу; датчик буйкового рівнеміра тощо)	\textcircled{LT}
28	Прилад для вимірювання рівня показувальний із сигнальним пристроєм, установлений на щиті (літери H і L означають сигналізацію верхнього та нижнього граничних рівнів)	$\textcircled{\frac{LIA}{L}}^H$
29	Прилад для вимірювання густини розчину безшкальний із дистанційним передаванням показань місцевий (наприклад, датчик густиноміра з пневмо- чи електропередачею)	\textcircled{DT}
30	Прилад для вимірювання розмірів показувальний місцевий (наприклад, показувальний прилад для вимірювання товщини сталльної стрічки)	\textcircled{GI}
31	Пристрій для перетворення положення вихідного штока регулювального органа з дистанційним передаванням показань місцевий (наприклад, дистанційний показчик положення типу ДУП або датчик положення – реостатний чи індуктивний – змонтований на електричному приводі)	\textcircled{GT}
32	Прилад для вимірювання будь-якої електричної величини показувальний місцевий (написи, що розшифровують конкретно вимірювану величину, розміщуються або поруч з приладом, або у вигляді таблиці на полі креслення) (наприклад, п. 33–35)	\textcircled{EI}



33	Вольтметр місцевий	\textcircled{EI}^V
34	Амперметр місцевий	\textcircled{EI}^A
35	Ватметр, установлений на щиті	\textcircled{EI}^W
36	Прилад для керування процесом за часовою програмою, встановлений на щиті (наприклад, командний електропневматичний прилад, багатоланцюгове реле часу тощо)	\textcircled{KS}
37	Прилад для вимірювання вологості реєструвальний, установлений на щиті (наприклад, вторинний прилад вологоміра самописного)	\textcircled{MR}
38	Первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для вимірювання якості продукту місцевий (наприклад, датчик рН-метра)	$\textcircled{QE}^{\text{pH}}$

Продовження табл. 10.6

1	2	3
39	Прилад для вимірювання якості продукту показувальний місцевий (наприклад, газоаналізатор показувальний для контролю вмісту кисню в димових газах)	$\textcircled{QI}^{\text{O}_2}$
40	Прилад для вимірювання якості продукту реєструвальний регульовальний, установлений на щиті (наприклад, вторинний самописний прилад регулятора концентрації азотної кислоти в розчині)	$\textcircled{QRC}^{\text{HNO}_3}$
41	Прилад для вимірювання радіоактивності показувальний із сигнальним пристроєм місцевий (наприклад, прилад показувальний із сигналізацією граничнодопустимої інтенсивності α - і β -випроміювання)	$\textcircled{RIA}^{\alpha, \beta}$
42	Прилад для вимірювання частоти обертання привода показувальний, установлений на щиті (наприклад, вторинний прилад тахогенератора)	\textcircled{SI}
43	Прилад для вимірювання в'язкості показувальний місцевий (наприклад, віскозиметр показувальний)	\textcircled{VI}
44	Прилад для вимірювання декількох різнорідних величин реєструвальний місцевий (наприклад, самописний дифманометр-витратомір з додатковим записом тиску і температури пари; напис, що розшифровує вимірювані величини, наноситься або справа від приладу, або на вільному полі схеми в примітці)	$\textcircled{UR}^{U=f(F, P, T)}$
45	Прилад для контролю погашення факела в печі безшкальний, з контактним пристроєм, установлений на щиті (наприклад, вторинний пристрій запально-запобіжного пристрою; застосування резервної літери <i>B</i> має бути зазначено	\textcircled{BS}

	на полі схеми)	
46	Перетворювач сигналу, встановлений на щиті; вхідний сигнал – електричний, вихідний сигнал також електричний (наприклад, нормувальний перетворювач термоелектрорушійної сили)	
47	Перетворювач сигналу перехідний, місцевий; вхідний сигнал пневматичний, вихідний – електричний (наприклад, пневмоелектричний перетворювач)	
48	Пускова апаратура для керування електроприводом (наприклад, магнітний пускач, контактор, тиристорний підсилювач тощо) та іншим електроустаткуванням (наприклад, електронагрівником типу ТЕН; застосування резервної літери <i>N</i> має бути зазначено на полі схеми)	
49	Апаратура, призначена для ручного дистанційного керування, встановлена на щиті (кнопка керування, ключ керування, ручний задавач тощо)	
50	Апаратура, призначена для ручного дистанційного керування, оснащена пристроєм для сигналізації, встановлена на щиті (кнопка з вбудованою лампочкою, ключ керування з підсвіткою тощо)	

Закінчення табл. 10.6

1	2	3
51	Апаратура, призначена для ручного дистанційного керування, встановлена на щиті (пневматична чи електрична панель керування)	
52	Ключ керування, призначений для вибору режиму керування, встановлений на щиті (приклад наведено для ілюстрації випадку, коли позиційне позначення завелике і тому його наносять поза колом)	 _{S101-2}

Щити, штативи, пульти керування на схемах автоматизації зображують умовно у вигляді прямокутників довільних розмірів, достатніх для нанесення графічних умовних позначень приладів, що на них встановлюються, засобів автоматизації, апаратури керування та сигналізації. У прямокутниках можна вказувати номери креслень загальних видів щитів і пультів, а з лівого боку – його назву. Прилади і засоби автоматизації, розміщені поза

щитами і не пов'язані безпосередньо з технологічним обладнанням та трубопроводами, умовно показують у прямокутнику «Прилади місцеві»⁷.

Комплектні пристрої (машини централізованого контролю, керувальні машини, комплекти телемеханіки тощо) також позначають на схемах автоматизації прямокутниками.

Функціональні зв'язки між технологічним устаткуванням і встановленими на ньому первинними перетворювачами, а також із засобами автоматизації, встановленими на щитах та пультах, на схемах показують тонкими суцільними лініями. Кожен зв'язок позначають однією лінією незалежно від фактичної кількості проводів чи труб, якими здійснюється цей зв'язок. До умовних позначень приладів і засобів автоматизації лінії зв'язку допускається підводити з будь-якого боку, зокрема і під кутом. Лінії зв'язку мають бути найкоротшими, з мінімальною кількістю перетинів. Допускається перетинання лініями зв'язку зображень технологічного устаткування і комунікацій, однак перетинання умовних позначень приладів і засобів автоматизації неприпустиме.

12.1. 5. Позиційні позначення на схемах автоматизації

Біля кожного умовного позначення технологічного устаткування – апарата чи машини – подають назву або номер позиції (назву можна вписати всередині позначення. Можна використовувати літерно-цифрові позначення (наприклад, Т-1, Р-3, Н-12 тощо), де буква означає назву групи однотипного устаткування (відповідно теплообмінників, резервуарів, насосів), а цифра – порядковий номер апарата чи машини серед його подібних.

⁷ Згідно з ДСТУ 2681–94 «Метрологія. Терміни та визначення» різного роду перетворювачі: узгоджувальні, нормувальні, передавальні тощо (а саме їх переважно розміщують у цьому прямокутнику) належать не до приладів, а до вимірювальних пристроїв. Там також показують різні види електроустаткування: кнопки та пости керування, магнітні пускачі, контактори тощо. Щоб охопити все це, згаданий напис варто б замінити на такий (див. рис. 5.2–5.4): «Технічні засоби автоматизації місцеві» (прим. авт.).

Приладам і засобам автоматизації, зображеним на схемах автоматизації, надають позиційні позначення (позиції), що зберігаються незмінними в усіх матеріалах проекту. На стадіях проекту позиційні позначення виконують арабськими цифрами відповідно до нумерації і заявочної відомості на прилади, засоби автоматизації та електроапаратуру.

На стадії робочої документації за одностадійного проектування позиційні позначення приборів та засобів автоматизації утворюються з двох частин: позначення арабськими цифрами номера функціональної групи (контура контролю або регулювання) і малими літерами кириличного алфавіту одиниць приладів і засобів автоматизації в певній функціональній групі (контурі); при цьому висота цифр і великих літер має бути 3,5 мм, висота малих літер – 2,5 мм.

Літерні позначення надаються кожному елементу функціональної групи (контура) за алфавітом відповідно до послідовності надходження сигналу – від пристроїв отримання інформації до пристроїв впливу на керований процес (наприклад, первинний перетворювач – проміжний перетворювач – регулятор – виконавчий механізм – регулювальний орган). Допускається заміна літер цифрами (через дефіс), які, починаючи з одиниці, зростають у тій самій послідовності⁸.

Позиційні позначення окремих приладів і засобів автоматизації місцевого розміщення, таких як регулятор прямої дії, манометр, термометр розширення тощо, складаються лише з порядкового номера.

Позиційні позначення потрібно надавати всім елементам функціональних груп, за винятком:

– відбірних пристроїв;

⁸ У практиці проектування систем контролю та керування на схемах автоматизації замість «нейтрального» цифро-літерного чи цифрового позначення позицій пускових пристроїв часто застосовують літерно-цифрові, в яких букви є абревіатурою від назви пристроїв (див. рис. 5.3, 5.4), а цифри – порядковими номерами пристроїв серед їм подібних: магнітні пускачі – МП1, МП2, магнітні контактори – КМ1, КМ2, кнопки запобіжного відмикання пускових пристроїв – КВ1, КВ2 тощо.

– приладів і засобів автоматизації, що постачаються комплектно з технологічним устаткуванням;

– регулювальних органів та виконавчих механізмів, які входять у систему автоматичного керування, але замовляються і встановлюються у технологічних частинах проекту.

Позначення на схемах автоматизації електроапаратури на стадії робочої документації або в разі одностадійного проектування мають відповідати таким позначенням, як на принципових електричних схемах.

Визначаючи межі кожної функціональної групи, слід враховувати таку обставину: якщо прилад чи регулятор сполучений з декількома датчиками або отримує додатковий вплив від іншого параметра (наприклад, коригувальний сигнал), то всі елементи схеми, що виконують додаткові функції, належать до тієї функціональної групи, на яку вони впливають. Регулятор співвідношення, зокрема, входить до складу тієї функціональної групи, на яку він чинить головний вплив по координаті незалежного параметра (див. дод. 1). Те саме стосується й прямого цифрового керування, де вхідним ланцюгом контура регулювання надається одна й та сама позиція.

У системах централізованого контролю із застосуванням обчислювальної техніки, системах телевимірювання та у складних схемах автоматичного керування із загальними для різних функціональних груп пристроями всі спільні елементи виносять у самостійні функціональні групи.

Приклади побудови схем автоматизації контролю та регулювання технологічних параметрів (окремих контурів) наведено в дод. 1, 2.

12.1. 6. Вимоги до оформлення та приклади виконання схем автоматизації технологічних процесів

Схему автоматизації виконують у вигляді креслення, на якому схематично показують: технологічне устаткування, комунікації, органи керування та за-

соби автоматизації із зазначенням зв'язків між технологічним устаткуванням і засобами автоматизації, а також зв'язків між окремими функціональними блоками та елементами автоматики.

Умовні зображення слід виконувати лініями такої товщини:

1) технологічного устаткування:

- у вигляді прямокутників довільних розмірів – 0,5...1 мм;
- з відображенням характерних ознак устаткування – 0,2...0,5 мм;

2) трубопроводів – 0,5...1,5 мм;

3) умовні зображення засобів автоматизації (крім горизонтальної лінії на зображенні приладів, розміщених на щитах і пультах) – 0,5...0,6 мм;

4) лінії зв'язку між засобами автоматизації та горизонтальні лінії на зображенні приладів, розміщених на щитах і пультах, – 0,2...0,3 мм;

5) щити та пульти (прямокутники внизу схеми) – 0,5...1 мм.

Схеми автоматизації можна розробляти з більшим чи меншим ступенем деталізації. Однак обсяг інформації, поданий на схемі, має давати повне уявлення про прийняті основні рішення з автоматизації певного технологічного процесу, а також забезпечувати можливість складання на стадії проекту заявочних відомостей на прилади і засоби автоматизації, трубопровідну арматуру, щити й пульти, основні монтажні матеріали та вироби. Схему автоматизації зазвичай виконують на одному аркуші, на якому зображують засоби автоматизації й апаратуру всіх систем контролю, регулювання, керування та сигналізації, що належать до певної технологічної установки. Допоміжних пристроїв (редукторів і фільтрів для повітря, джерел живлення, реле, автоматів, вимикачів та запобіжників у ланцюгах живлення, з'єднувальних коробок, інших пристроїв та монтажних елементів) на схемах автоматизації не показують.

Складні технологічні схеми рекомендується розбивати на окремі технологічні вузли і виконувати схеми автоматизації цих вузлів у вигляді окремих креслень. Для технологічних процесів з великим обсягом автоматизації схе-

ми автоматизації можуть бути виконані окремо за видами технологічного контролю та керування. Наприклад, окремо виконують схеми автоматичного керування, контролю та сигналізації тощо.

Стандартом встановлено два способи виконання схем автоматизації:

1) *розгорнутий*, у якому на схемі зображують склад і місце розташування технічних засобів автоматизації кожного контура контролю та керування. Розгорнутий спосіб побудови умовних графічних позначень можна виконувати комбінованим застосуванням основних (табл. 10.2, 10.3) та додаткових (табл. 10.4, 10.5) умовних позначень. При цьому щити та пульти керування зображують у вигляді прямокутників (зазвичай у нижній частині креслення), в яких показують установлені на них засоби автоматизації;

2) *спрощений*, у якому на схемі зображують основні функції контурів контролю та керування (без виділення окремих технічних засобів автоматизації, що до них входять, та зазначення місця їх розташування). Засоби автоматизації на технологічних схемах зображують поблизу відбірних та приймальних пристроїв без побудови прямокутників, які умовно показують щити, пульти, пункти контролю і керування. Для спрощеного способу побудови достатньо основних умовних позначень, наведених у табл. 10.2, та літерних позначень, наведених у табл. 10.3.

Виконуючи схеми розгорнутим способом, на них показують всі пристрої та засоби автоматизації, що входять до складу функціонального блока чи групи, а також місце їх встановлення. Перевага цього способу – більша наочність, що значно полегшує читання схеми й опрацювання проектних матеріалів, а також дає змогу складати замовні специфікації на потрібні для реалізації розробленої схеми автоматизації устаткування, виробу та матеріали. Приклад виконання схеми автоматизації розгорнутим способом показано на рис. 158.2. На схемі двома прямокутниками позначено «Прилади місцеві» та «Щит колони». Лінії зв'язку між датчиками та відбірними пристроями, встановленими на

технологічному обладнанні, приладами та засобами автоматизації, встановленими на місцях і на щиті колони, виконано з розривами. На відміну від безперервного з'єднання технічних засобів автоматизації, що входять до конкретного контура контролю чи регулювання, лініями зв'язку, цей метод з'єднання називають адресним. На відрізках ліній зв'язку, прилеглих до прямокутника «Прилади місцеві», вказують граничнодопустимі робочі значення вимірюваних і регульованих параметрів ($x \times x$ °C, $y \times y$ МПа тощо). Усі комплекти апаратури контролю й автоматизації мають цифрове позиційне позначення. Наприклад, витрата сировини регулюється комплектом пневматичних технічних засобів автоматизації, що складається з діафрагми 3-1, безшкального дифманометра 3-2 (забезпечує дистанційне передавання сигналів, має квадратичну функцію перетворення), оснащеного станцією керування вторинного приладу 3-3, регулятора 3-4 і виконавчого механізму 3-5, тобто цьому комплекту присвоєно номер 3, а його складовим частинам – через дефіс – цифрові індекси 1, 2, 3, 4, 5. Комплект для вимірювання тиску в колоні має номер 2, комплект для регулювання подачі охолоджувальної води – номер 4, комплект для регулювання відбирання продукту – номер 5 (у цьому контурі регулювання додатково впроваджено зворотний зв'язок за положенням вихідного органа виконавчого механізму), комплект для регулювання рівня у кубі колони – номер 8 тощо. Чинні нормативні документи, що зазвичай не змінюються тривалий час, не можуть передбачити наперед усіх нововведень у зображення схем автоматизації, які можуть знадобитися у зв'язку з тим, що номенклатура технічних засобів автоматизації безперервно і доволі швидко збільшується, і це, в свою чергу, спричинює нові варіанти їх застосування. Так, із виходом на ринок систем керування технологічними процесами мікроконтролерів унормовані стандартами «класичні» схеми автоматизації на базі локальних засобів вже не відповідали новим

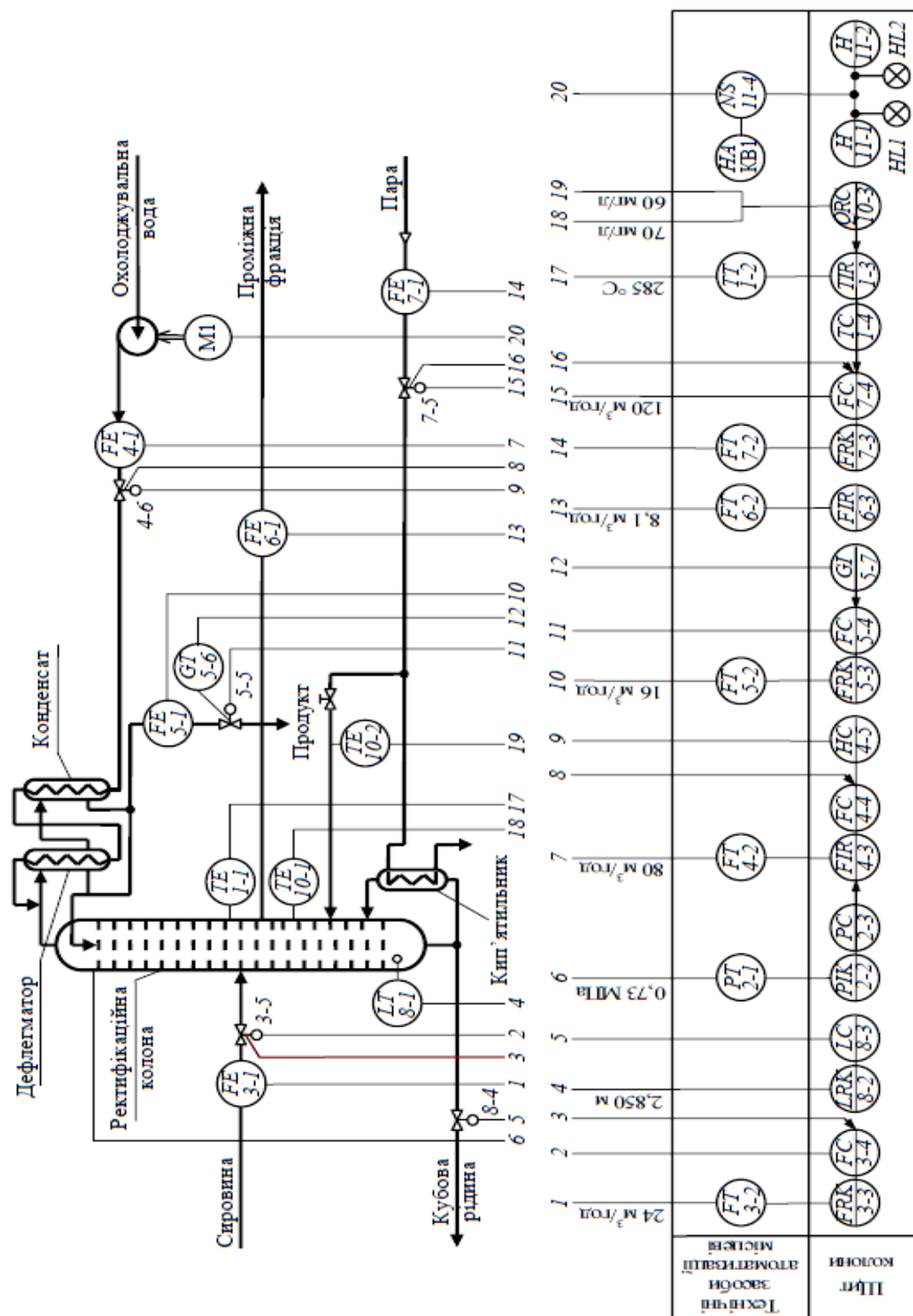


Рис. 158.2. Приклад виконання схеми автоматизації розгорнутим способом на базі аналогових технічних засобів

технічним і структурним можливостям, надаваним мікроконтролерами, зокрема використовувані в цих схемах літерні позначення функціональних ознак приладів далеко не вичерпували всіх функцій, що реалізовувалися мікроконтролерами. З огляду на це головні розробники схем автоматизації – різні проектні організації – вдалися до заповнення прогалів у цій царині власними розробками, виходячи зі свого досвіду та бачення підходів до розв’язання проблеми (зайве наголошувати, що на відміну від регламентованих стандартами, ці розробки не вирізнялися одноманітністю). Та згодом бурхливе розширення номенклатури і функціональних можливостей цифрових приладів на базі мікропроцесорної техніки, яке спостерігається останніми роками, спонукало вдосконалювати й «мікроконтролерні» схеми автоматизації. Тож залежно від технічного наповнення тієї чи тієї розроблюваної системи керування можна застосовувати й відповідні варіанти зображення схем автоматизації. На рис. 158.3 показано один з можливих варіантів реалізації попередньої (рис. 158.2) схеми автоматизації на мікроконтролерах типу «Реміконт», «Ломіконт», КОНТРАСТ та ін. Пневматичні сигнали з виходів безшкальних дифманометрів (3-2, 4-2, 5-2 тощо) перетворюються в електричні сигнали для подачі їх на відповідні входи мікроконтролера пневмоелектричними перетворювачами (2-2, 3-3, 8-2 тощо). Замість локальних перетворювачів можна скористатися комплексом програмно-технічних засобів «АСТРА-8М», призначеним для введення в ЕОМ інформації від датчиків та інших пристроїв, що мають стандартний пневматичний вихід, а також для приймання від ЕОМ електричних сигналів і перетворення їх у стандартний пневматичний сигнал. Пунктирне позначення ручного дистанційного керування означає, що його можна застосовувати тільки після відключення автоматичного регулювання, яке є основним.

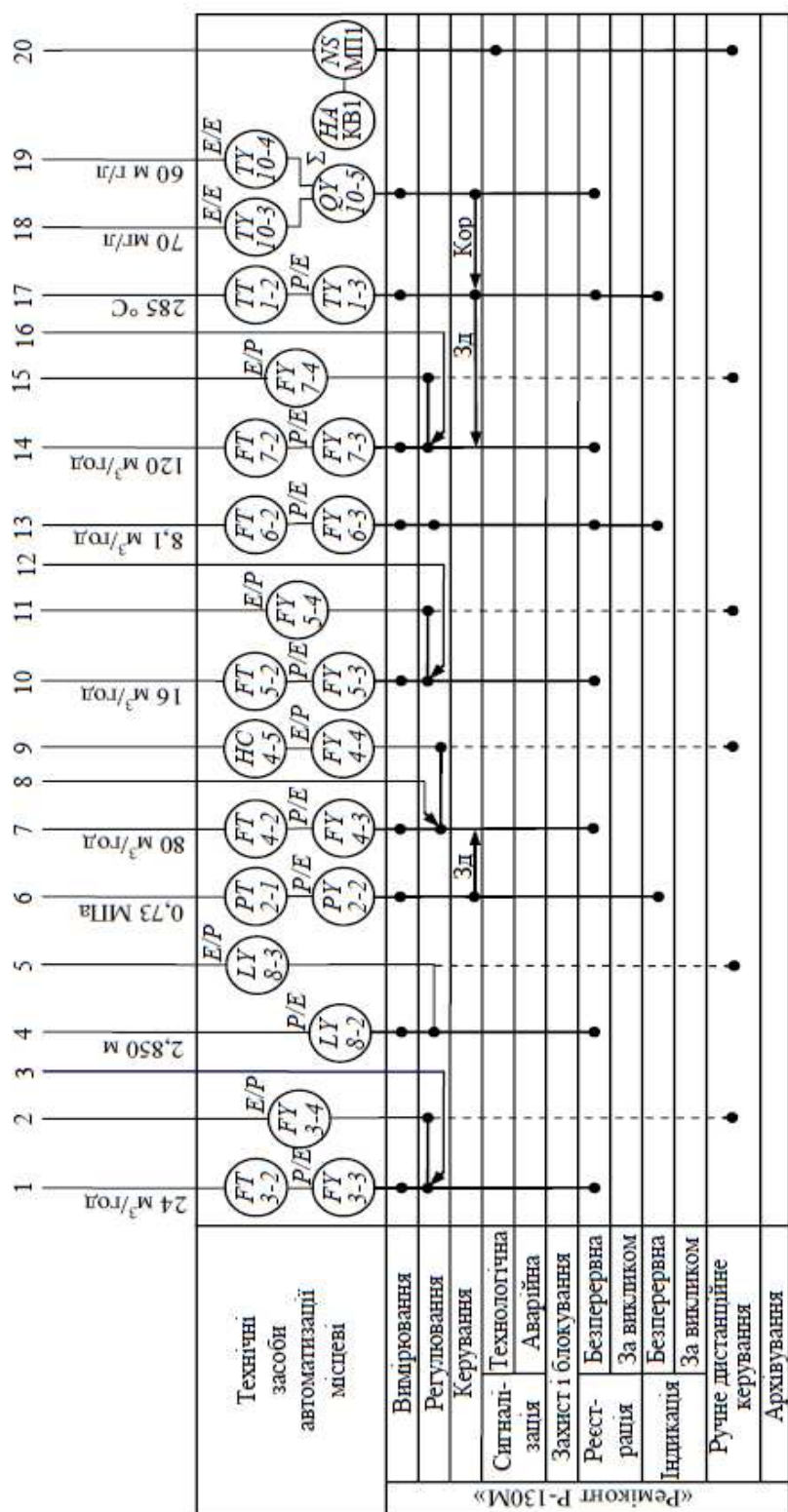


Рис. 158.3. Приклад виконання схеми автоматизації розгортаним способом на базі мікроконтролера

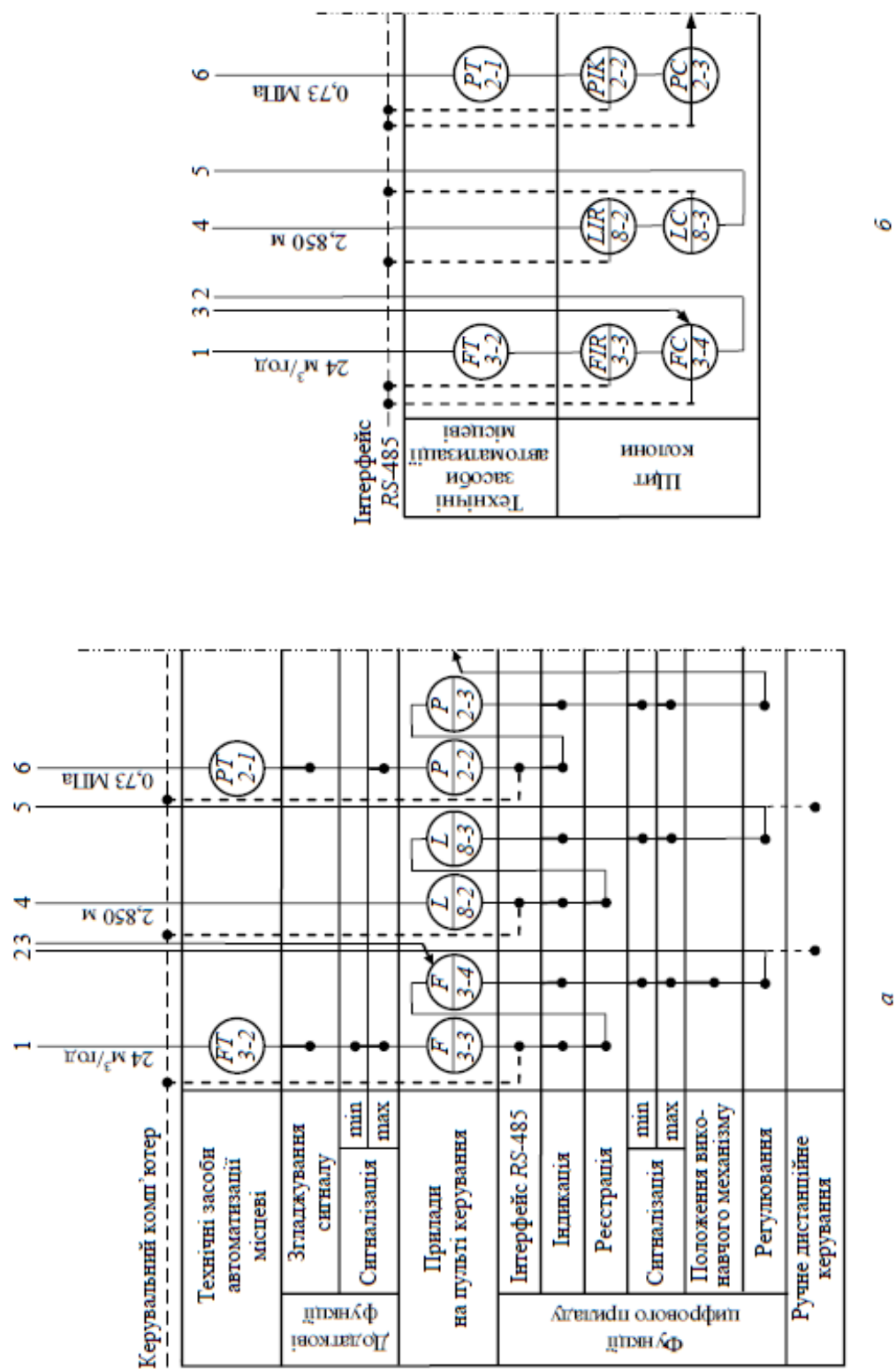


Рис. 158.4. Приклад виконання схеми автоматизації розгорнутим способом на базі цифрових приладів

Варіант схеми автоматизації того самого об'єкта (рис. 154.2), побудованої з використанням цифрових приладів, показано на рис. 158.4, *а* (фрагментарно, повну схему – див. [21]). Ця схема є своєрідним симбіозом двох попередніх: прилади на ній зображено так, як у «класичній» схемі на базі локальних засобів автоматизації (рис. 158.2), а численні функціональні можливості, надавані цифровими приладами, – як у «мікроконтролерних» схемах автоматизації. Іноді вдаються до **спрощеного варіанту** такої схеми автоматизації (рис. 158.4, *б*) – на ній вказують не функціональні ознаки приладів, а лише їх зв'язок з КЕОМ чи мікроконтролером за допомогою відповідного інтерфейсу (наприклад, RS-485), а функціональні можливості визначаються можливостями КЕОМ чи мікроконтролера.

Для пристроїв, що показують положення вихідних органів виконавчих механізмів тощо (графічні умовні позначення наведено в табл. 5.6, п. 30, 31), потрібно показувати наявний механічний зв'язок з вихідним органом виконавчого механізму. Такі пристрої можуть бути як окремого виготовлення, так і вбудованими, щодо яких графічні умовні позначення не застосовують (рис. 158.2, поз. 3-5, 4-6, 7-5).

Спрощений спосіб побудови схем (рис. 158.5) хоч і дає лише загальне уявлення про прийняті рішення щодо автоматизації об'єкта, дозволяє суттєво зменшити обсяги проектної документації. Однак читання схем автоматизації, виконаних у такий спосіб, ускладнено тим, що вони не повно відображають організацію пунктів контролю і керування об'єктом, а складання специфікації на використані засоби автоматизації за такою схемою взагалі неможливе. Регулювальні пристрої зображено на схемі технологічного процесу поблизу відбірних пристроїв та датчиків і позначено відповідними арабськими цифрами, проставленими в нижній частині кола, що зображує регулювальний пристрій. Виконавчі механізми та відбірні пристрої позиційних позначень не мають.

Іноді застосовують і комбінований метод зображення, який передбачає показування засобів автоматизації здебільшого розгорнено, однак деякі вузли зображаються спрощено.

Прилади та засоби автоматизації, вбудовані в технологічне обладнання та комунікації чи механічно пов'язані з ним, зображають на кресленні в безпосередній близькості від них (виконавчі механізми, регулювальні та запірні органи). Для полегшення розуміння особливостей автоматизованого технологічного процесу, можливості вибору діапазонів вимірювання та шкал приладів, визначення устáвок (завдань) регуляторів на схемах автоматизації вказують граничнодопустимі робочі (максимальні чи мінімальні) значення вимірюваних чи регульованих технологічних параметрів за сталих режимів роботи. Ці значення в одиницях вибраної шкали приладу або в міжнародній системі одиниць указують на лініях зв'язку, прилеглих до прямокутника «Прилади місцеві» (див. рис. 158.2...158.4). Для приладів, убудованих безпосередньо в технологічне обладнання чи трубопроводи (термометрів розширення, манометрів, витратомірів постійного перепаду тощо) та розміщених поза згаданими прямокутниками, граничнодопустимі значення параметрів вказують під позиційним позначенням приладів чи поблизу позначень.

Над рамкою з основним написом по її ширині (так зване *вільне поле* схеми) зверху вниз на першому аркуші креслення подають таблицю не передбачених стандартами умовних позначень, прийнятих у цій схемі автоматизації; там же розміщують експлікацію на технологічне устаткування (номер позиції, назву, кількість однотипних одиниць) і позначення (нумерацію) трубопроводів, не наведених у табл. 17.1 (починаючи з цифри 28). У разі потреби таблиці можна виконувати на окремих аркушах.

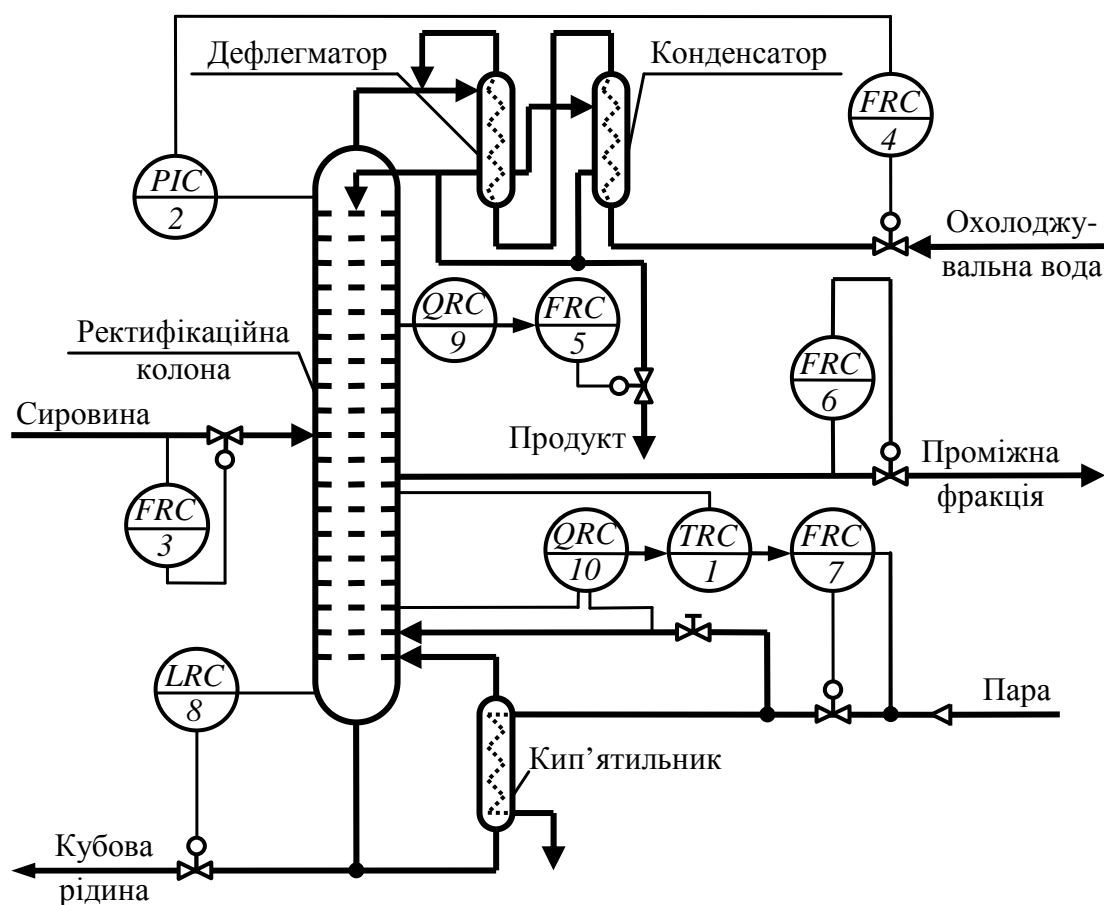


Рис. 158.5. Приклад виконання схеми автоматизації спрощеним способом

На кресленнях схем автоматизації мають бути наведені пояснення, на підставі яких документів їх розроблено. Допускається на вільному полі схеми подавати стислу технічну характеристику об'єкта, що автоматизується, пояснювальні таблиці, діаграми тощо. Пояснювальний текст можна розміщувати і в будь-якому іншому вільному місці схеми.

У разі виконання схем автоматизації обома способами відбірний пристрій для всіх постійно підключених технічних засобів автоматизації не має спеціального позначення, а являє собою тонку суцільну лінію, що з'єднує технологічний трубопровід чи апарат з первинним вимірювальним перетворювачем чи приладом. Якщо потрібно вказати точне місце розташування відбірного пристрою чи точки вимірювання (всередині контуру технологічно-

го апарата), на кінці тонкої суцільної лінії зображують коло діаметром 2 мм (див. первинний перетворювач 8-1 на рис. 158.2).

Допускається запірну та регулювальну арматуру (наприклад, засувки, заслінки, шибери, напрямні апарати тощо), яка бере участь у системах автоматизації і замовляється в технологічній частині проекту, зображувати на схемах автоматизації відповідно до чинних у тій частині стандартів.

Виконуюючи креслення схеми автоматизації, слід уникати дублювання однакових її частин, які належать як до технологічного устаткування, так і до засобів автоматизації. Для однотипних об'єктів, які мають однакове оснащення і не пов'язані між собою, схему автоматизації виконують лише для одного об'єкта і додають, наприклад, пояснення: *«Схему складено для агрегату 1; для агрегатів 2–6 схеми аналогічні»*.

Схема автоматизації обов'язково доповнюється специфікацією на використанні в ній технічні засоби автоматизації. Специфікацію складають у вигляді таблиці (дод. 4) і подають у кінці пояснювальної записки до проекту. У специфікації наводять позиції технічних засобів згідно зі схемою автоматизації, вимірюваний параметр та його граничнодопустиме (номінальне, середнє) значення, місце відбору інформації, місце монтажу технічного засобу, його найменування та повну технічну характеристику, загальну кількість однотипних одиниць, завод-виробник тощо. Технічні засоби (первинні та проміжні перетворювачі, вторинні прилади, регулятори, виконавчі механізми, монтажні вироби, матеріали тощо) підбирають за допомогою каталогів і довідників на технічні засоби автоматизації, що серійно виробляються промисловістю, а також за рекламними та номенклатурними довідниками виробників і торговельних організацій.

12.1.7. Схеми сигналізації, блокування та захисту

Технологічні процеси сучасних хімічних виробництв характеризуються оптимальними значеннями параметрів, які у багатьох випадках наближаються до критичних значень. У певних випадках навіть невеликі відхилення параметрів від їх оптимальних значень можуть знизити ефективність функціонування установки і навіть спричинити аварійні ситуації. У зв'язку з цим під час проектування й експлуатації промислових установок велике значення надають питанням забезпечення контролю за перебігом технологічного процесу. У свою чергу, надійність і вірогідність технологічного контролю значною мірою визначається використовуваними системами та пристроями технологічної сигналізації, захисту та блокування.

Пристрої (схеми) сигналізації призначені для автоматичного сповіщення персоналу про відхилення параметрів процесу за допустимі межі подаванням світлових чи звукових сигналів. Для світлової сигналізації використовують електричні лампи, для звукової – дзвінки, сирени, гудки. Найчастіше звуковий сигнал служить лише для сповіщення оператора про певну подію, а світловий точно вказує на її місце (зазвичай на мнемосхемі процесу) та характер. Сигналізацію поділяють на технологічну (попереджувальну й аварійну) та сигналізацію положення.

Попереджувальна сигналізація призначена для сповіщення персоналу про відхилення параметрів процесу за межі, обумовлені нормальним технологічним режимом. Аварійна сигналізація призначена для оповіщення персоналу про неприпустимі значення параметрів або про аварійне відключення одного з апаратів технологічної схеми, вона дає змогу вчасно виявляти аварійні ситуації й автоматично вжити оперативних заходів для запобігання аваріям. Сигналізація положення об'єкта керування призначена для сповіщення персоналу про стан механізмів і машин (увімкнені чи вимкнені), а також про по-

ложення запірних органів (відкриті чи закриті) на даний момент часу. Цей вид сигналізації реалізується за допомогою сигнальних ламп.

Пристрої сигналізації істотно спрощують роботу оператора, позбавляючи від необхідності невідривно стежити за ходом процесу.

Пристрої (схеми) захисту призначені для запобігання аваріям, пожежам, вибухам, виходу з ладу технологічного устаткування. У разі спрацювання аварійної сигналізації вони впливають на процес (відкриваючи та закриваючи технологічні магістралі, вмикаючи та вимикаючи електродвигуни механізмів і машин) так, щоб ліквідувати критичний стан об'єкта керування з найменшими втратами (наприклад, з виникненням вібрації ротора центрифуги внаслідок порушення рівномірності осаду пристрій захисту здійснює її зупинку, а в разі припинення подачі нагріваної рідини у змійовики трубчастої печі перекриває подачу палива, щоб запобігти прогоранню труб).

Пристрої (схеми) блокування запобігають неприпустимим, помилковим діям оперативного персоналу, визначають регламентовану послідовність операцій з відключення технологічного устаткування. Ці пристрої (схеми) мають особливо важливе значення у разі комплексної автоматизації, коли велика кількість технологічних об'єктів автоматизується як єдине ціле. Увімкнення та вимкнення їх має здійснюватись у строго визначеному порядку, інакше може статися аварія. Наприклад, групу послідовно працюючих транспортерів необхідно вмикати проти ходу транспортованого матеріалу, тобто першим повинен вмикатися останній по ходу матеріалу транспортер, а вимикати – у зворотному порядку. Порушення зазначеної послідовності може спричинити завал транспортерів матеріалом.

Розглянемо декілька прикладів побудови наведених схем.

12.1. 8. Схеми сигналізації

Схема технологічної сигналізації має забезпечувати одночасне подавання світлового та звукового сигналів; знімання звукового сигналу (натисканням кнопкового вимикача); повторність спрацьовування виконавчого пристрою звукової сигналізації (у разі повторного відхилення параметра) після його відключення натисканням кнопкового вимикача; перевірку виконавчих пристроїв сигналізаторів (світлових і звукових) від одного кнопкового вимикача.

Деякі вимірювальні прилади мають убудовану контактну систему, яку можна безпосередньо використовувати для вмикання ламп, дзвінків тощо. Такі прилади разом із виконавчими пристроями сигналізації (лампами, дзвінками тощо) можна встановлювати біля апаратів (в особливих випадках і ті й другі повинні мати пожежовибухозахищене виконання).

На рис. 158.6 наведено функціональні схеми технологічної сигналізації одного параметра, що використовуються на промислових підприємствах.

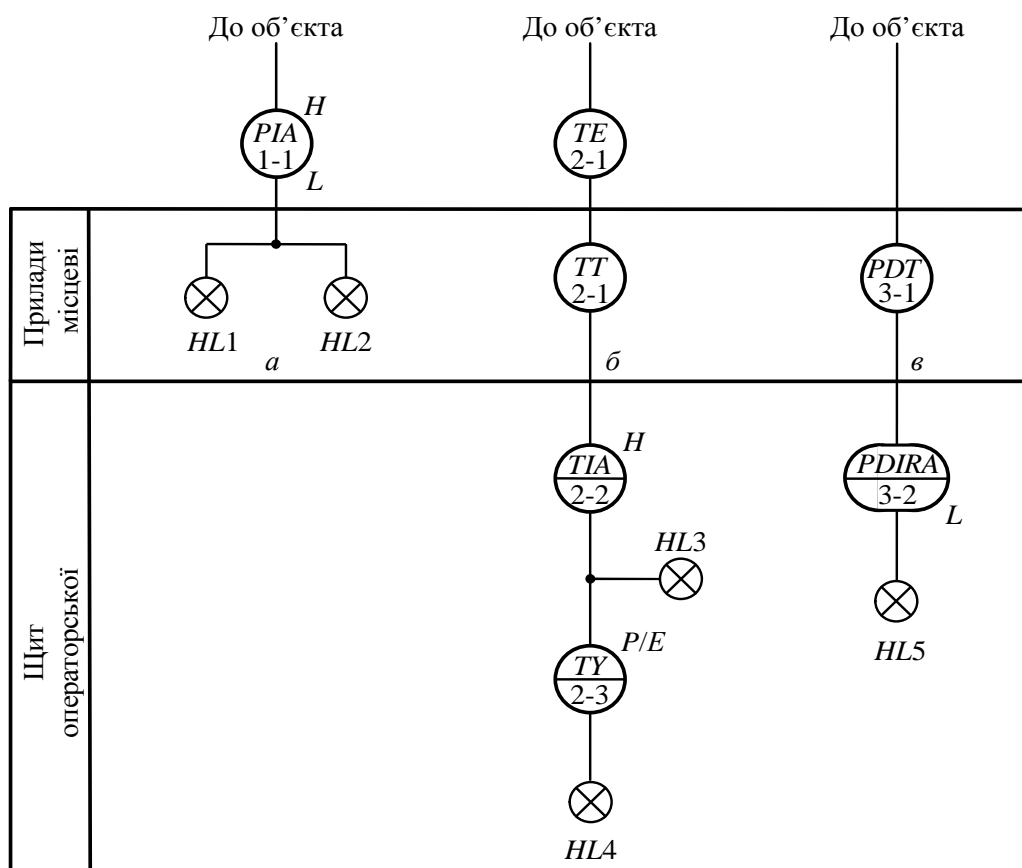


Рис. 158.6. Функціональні схеми технологічної сигналізації:

а – схема місцевої сигналізації; *б, в* – схеми дистанційної сигналізації;

1-1 – електроконтактний манометр; *HL1, HL2, HL4, HL5* – лампи електричні сигнальні; *HL3* – лампа пневматична сигнальна; 2-1 – манометричний термометр (термобалон і проміжний перетворювач – пристрій дистанційної передачі сигналу, наприклад, пневматичний вимірювальний перетворювач різниці тисків 13ДД11); 2-2 – пневматичний показувальний вторинний прилад ПКП.1П з пневматичною сигналізацією граничних значень (здіяна сигналізація тільки верхнього значення); 2-3 – пневмоелектричний перетворювач ППЕ; 3-1 – тензометричний вимірювальний перетворювач різниці тисків серії «Сафір» («Сапфир»); 3-2 – відповідний самописний вторинний прилад (наприклад, серій ДИСК-250; РМТ, КС-2 тощо), оснащений пристроєм сигналізації (здіяна сигналізація тільки нижнього значення)

Розглянемо деякі принципові електричні схеми сигналізації. У схемі технологічної сигналізації без проміжного реле (рис. 158.7, *а*) у разі замикання технологічного контакту *K2* вимірювального приладу вмикається сигнальна лампа *HL*. Паралельно лампі можна підключити звуковий сигналізатор *НА* (дзвінок, гудок тощо). Вада такої схеми полягає в тому, що дзвінок працює увесь час, поки замкнено контакт *K2*. Якщо контакт

приладу має недостатню розривну потужність, у схему вводять проміжне реле (котушка реле КМ1 на рис. 158.7, б). У випадку, коли сигнальна лампа розрахована на меншу напругу, ніж напруга живлення схеми, по-спільовно з лампою встановлюють резистор. Це сприяє також збільшенню терміну служби лампи.

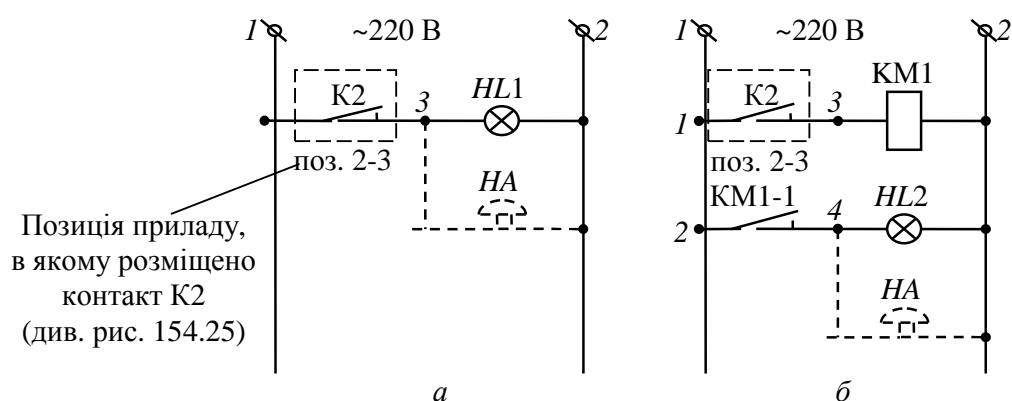


Рис. 158.7. Принципові електричні схеми технологічної сигналізації:
а – без проміжного реле; б – із проміжним реле

Надійність схеми сигналізації можна підвищити, використавши дві паралельно підключені лампи для сигналізації про один параметр. У такому разі немає нагальної потреби створювати окреме коло перевірки ламп.

Всі основні специфічні вимоги до технологічної сигналізації виконано на рис. 158.8. У разі замикання контакту приладу К2 вмикаються дзвінок *НА* і лампа *HL1*. Для зняття звукового сигналу необхідно натиснути кнопковий вимикач *SB2*. У цьому разі реле КМ2 контактом КМ2-2 вимикає дзвінок *НА*, а контактом КМ2-1 самоблокується.

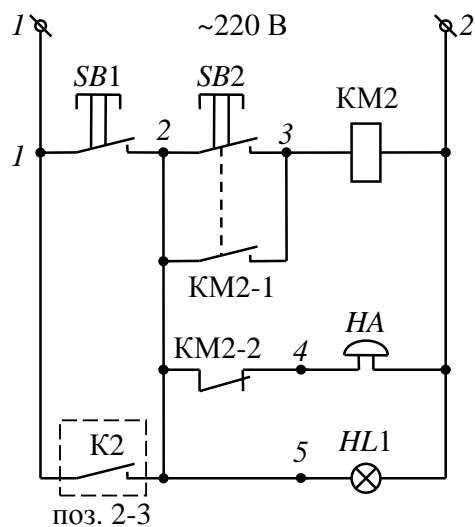


Рис. 158.8. Схема технологічної сигналізації на один параметр

Як тільки контакт К2 розімкнеться, схема знову готова для подачі звукового сигналу. Натисканням кнопкового вимикача *SB1* перевіряється справність дзвінка і лампи. У разі недостатньої розривної потужності контакту К2 у схему вводять проміжне реле (див. рис. 158.7, б).

На рис. 158.9 показано принципову схему сигналізації температури та тиску. За визначеного відхилення температури в об'єкті від заданого значення замикається технологічний контакт К3 (у вторинному приладі 3-3 контура автоматичного контролю температури – див. рис. 158.6).

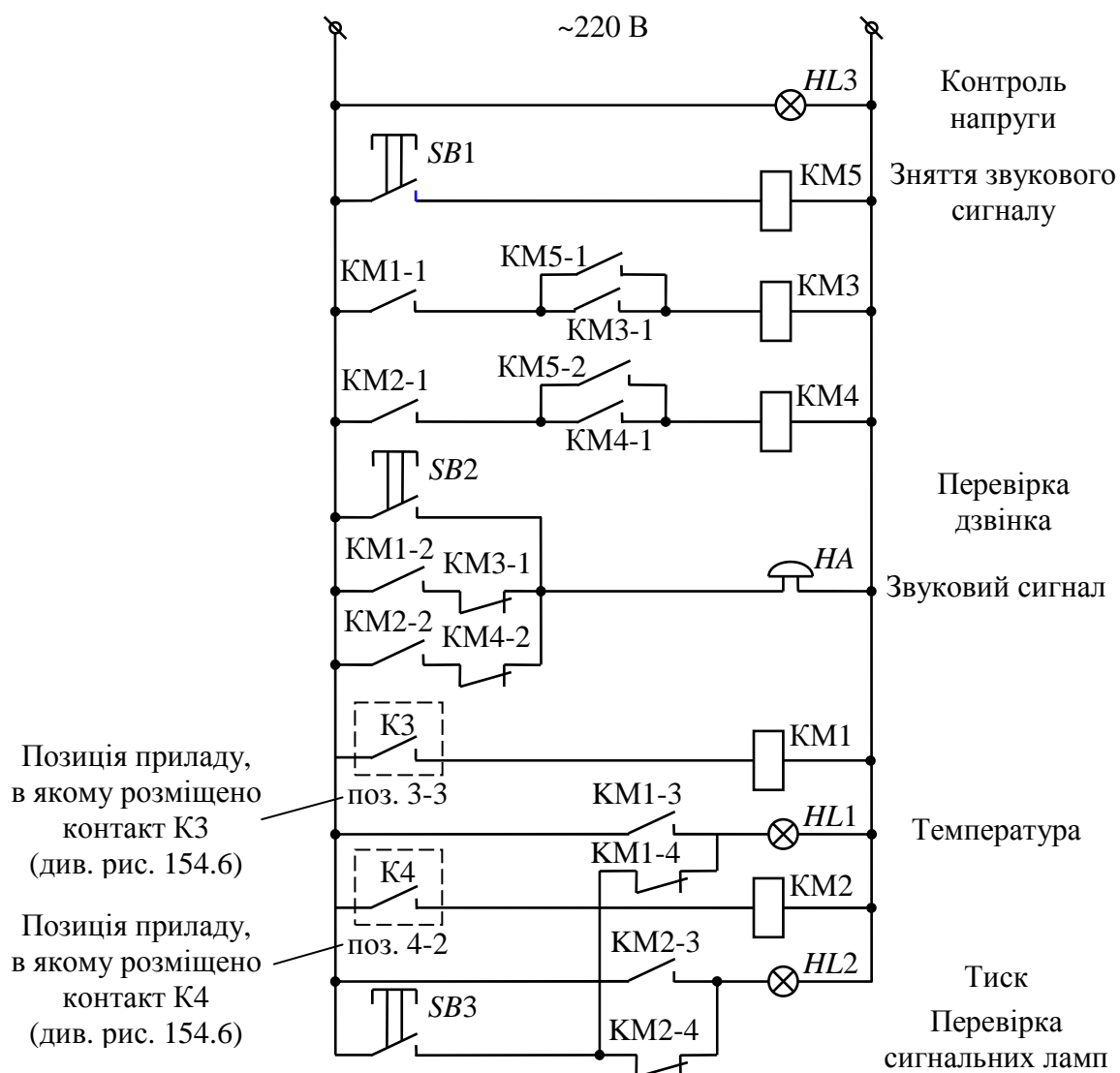


Рис. 158.9. Принципова схема технологічної сигналізації температури та тиску

Спрацьовує реле КМ1, замикаються контакти КМ1-1, КМ1-2, КМ1-3 і розмикається контакт КМ1-4. Контакт КМ1-1 готує коло для спрацювання реле КМ3. Контакт КМ1-2 вмикає дзвінок *НА*. Контакт КМ1-3 вмикає лампу *HL1* (сигналізація верхнього значення температури). Контакт КМ1-4 запобігає помилковому спрацюванню лампи *HL2* (сигналізація нижнього значення тиску) у разі замикання контакту К3. Для відключення дзвінка натискають кнопковий вимикач *SB1*. Спрацьовує реле КМ5, і замикається контакт КМ5-1. При цьому спрацьовує реле КМ3, яке самоблокується замикальним контактом КМ3-1. Розмикається контакт КМ3-2, і дзвінок *НА*

відключається – схема готова до увімкнення дзвінка у разі замикання іншого технологічного контакту К4 (у вторинному приладі 4-2 контура автоматичного контролю та сигналізації тиску – див. рис. 158.6).

Для перевірки справності дзвінка і ламп натискають кнопкові вимикачі відповідно *SB2* та *SB3*.

12.1.9. Схеми блокування

Схеми блокувальних залежностей електродвигунів. У випадку, коли потрібно запобігти можливості запуску електродвигуна *M2* без попереднього пуску електродвигуна *M1*, застосовують схему, показану на рис. 158.10. Контакт КМ1-2 магнітного пускача КМ1 електродвигуна *M1* вводиться в коло магнітного пускача КМ2 електродвигуна *M2*. Тільки у разі замкнутого контакту КМ1-2 натискання на кнопковий вимикач *SB3* призведе до вмикання пускача *КМ2*. Універсальний перемикач *SA* при цьому має перебувати в положенні «б» (блокування). У разі відключення електродвигуна *M1* контакт КМ1-2 у колі магнітного пускача КМ2 розмикається, вимикаючи електродвигун *M2*.

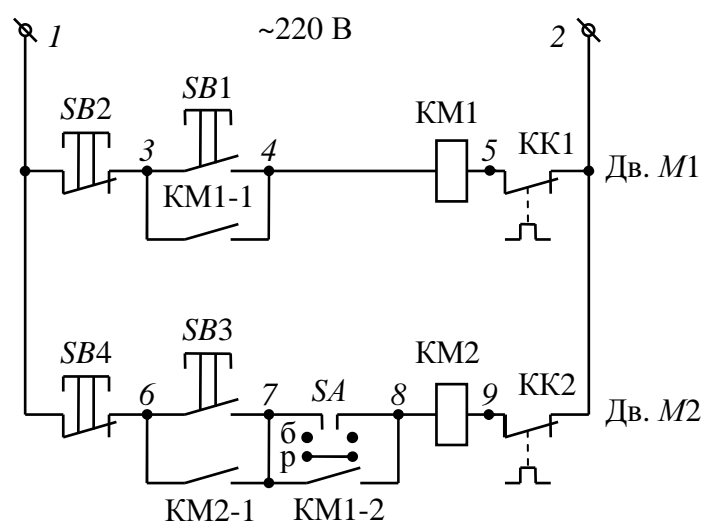


Рис. 158.10. Принципова схема керування двома заблокованими електродвигунами (з блокуванням пуску та зупинки)

У разі переведення перемикача *SA* у положення «р» (ручне керування) контакт *KM1-2* блокується, і стає можливим пуск електродвигуна *M2* незалежно від того, у якому стані перебуває електродвигун *M1*. Цей режим потрібен для випробування електродвигуна *M2*.

Схеми блокувальних залежностей у технологічних процесах. На рис. 154.11 показано схему, що дає змогу відкрити клапан 7 тільки після відкриття клапанів 4–6. На виході схеми «і» одиничний сигнал з'явиться тільки тоді, коли на мембрани клапанів 4–6 будуть подані одиничні сигнали від пневмотумблерів 1–3.

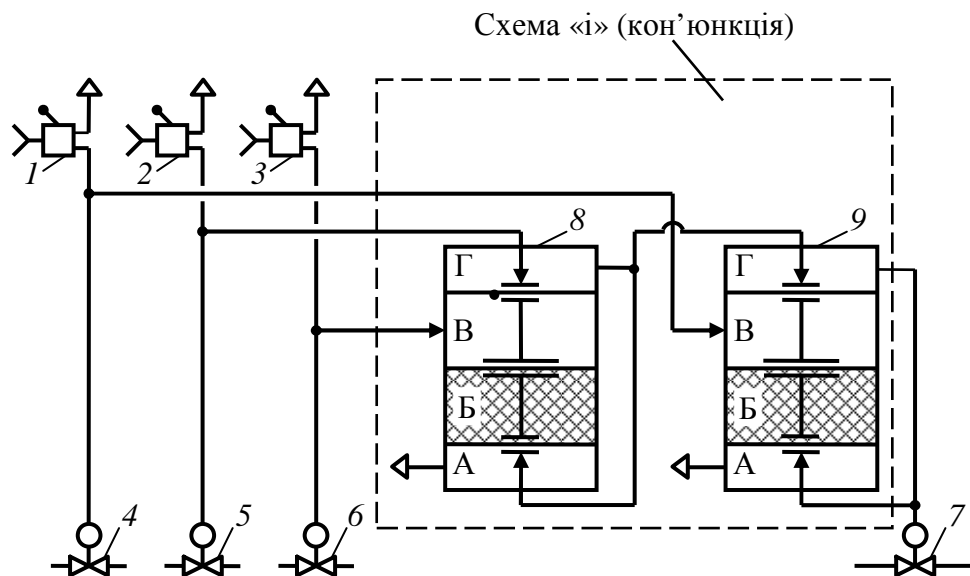


Рис. 158.11. Схема блокувальних залежностей клапанів:
1–3 – пневмотумблери; 4–7 – клапани; 8, 9 – тримембранні пневмоелементи

Застосовують також схеми, в яких пуск командного приладу, що керує через клапани подачею матеріальних і енергетичних потоків у об'єкт, котрий являє собою технологічний апарат з кришкою, неможливий до закриття кришки апарата. У разі повного закриття кришка впливає на кінцевий вимикач, спрацювання якого уможливорює пуск командного приладу.

12.1.10. Схеми захисту

Для захисту об'єктів хімічної технології в аварійній ситуації найчастіше буває потрібно увімкнути або вимкнути подачу якихось речовин в об'єкт. Це може бути здійснено кількома способами.

Якщо на магістралі встановлено регулювальний орган, то схема захисту може бути виконана, як показано на рис. 158.12, *а*. Керований параметр (у нашому випадку – температура) від первинного перетворювача (наприклад, термопари – на схемі не показана) надходить на вторинний показувальний і реєструвальний прилад 2-1 із вмонтованим пневматичним пропорційно-інтегральним регулятором (наприклад, прилади серії ДИСК-250). Вихідний сигнал регулятора регулює подачу на об'єкт пари за допомогою регулювального клапана 2.

У разі досягнення в об'єкті критичного тиску пари позиційний регулятор 1-1 видає одиничний сигнал перемикальному реле 4 (у камеру В). Мембранний блок зміщується вниз, при цьому сопло С1 закривається, а сопло С2 відкривається. Повітря з лінії мембранного виконавчого механізму скидається (через сопло С2 камери В) в атмосферу, а клапан 2 цілком закривається або відкривається – залежно від його типу (НЗ чи НВ). За досягнення нормального тиску в об'єкті тиск повітря в камері В реле 4 стає рівним нулю, пружина, розміщена в камері А, піднімає мембранний блок уверх і схема набуває первісного стану.

Після спрацювання пристроїв захисту автоматичне відновлення нормального функціонування об'єкта у разі зникнення ознаки небезпеки часто неприпустиме, тому на лінії між позиційним регулятором 1-1 і реле 4 встановлюють зворотний клапан КЗ і патрубок з голчастим вентилем ВГ (рис. 158.12, *б*). Для відновлення нормального режиму роботи схеми після

спрацювання пристроїв захисту необхідно відкрити вентиль ВГ для скидання тиску повітря і знову закрити його.

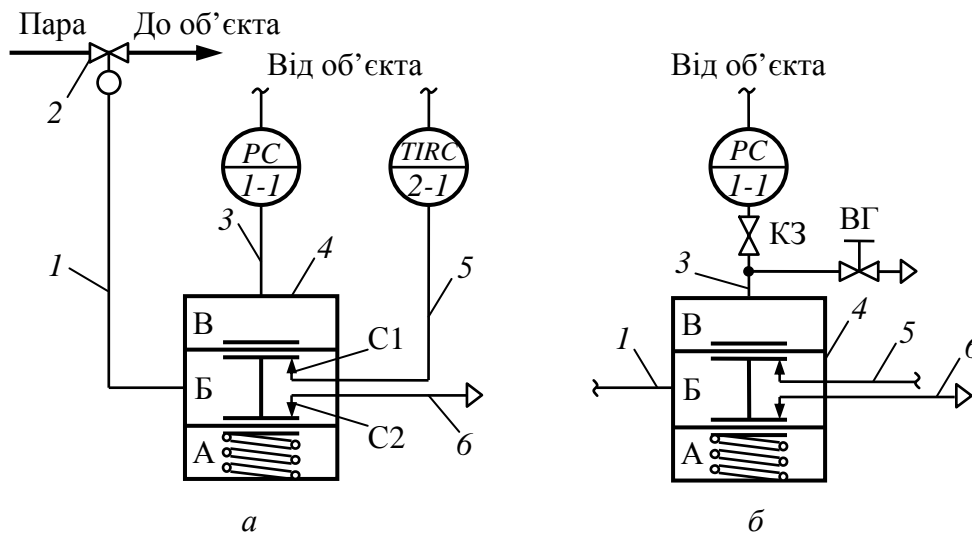


Рис. 158.12. Схема захисту простого об'єкта з використанням регулювального органа:
а – без перемикача; *б* – з пристроєм ручного відновлення нормального режиму;
 1-1 – позиційний регулятор; 2-1 – вторинний показувальний самописний прилад із убудованим регулятором; 1, 3, 5, 6 – пневматичні лінії; 2 – регулювальний клапан;
 4 – перемикальне реле; C1, C2 – сопла; КЗ – клапан зворотний; ВГ – вентиль голчастий

За потреби впливати одночасно на кілька магістралей (у випадку небезпечного відхилення одного параметра) застосовують схему, наведену на рис. 158.13, *а*.

Наприклад, за підвищення тиску в об'єкті позиційний регулятор 1-2 посиляє одиничний сигнал на виконавчий механізм триходового клапана 1-3, який перекриває доступ стиснутого повітря в гребінку й одночасно скидає залишок повітря з гребінки в атмосферу. При цьому клапани, керовані регуляторами, та відсічні клапани цілком закриваються чи відкриваються залежно від їх типу (НЗ чи НВ). Під час роботи схеми захисту вентиль 1 має бути закритий, а вентиля 2 та 3 відкриті.

Якщо потрібно здійснити захист об'єкта за трьома параметрами, то схему виконують, як показано на рис. 158.13, *б*.

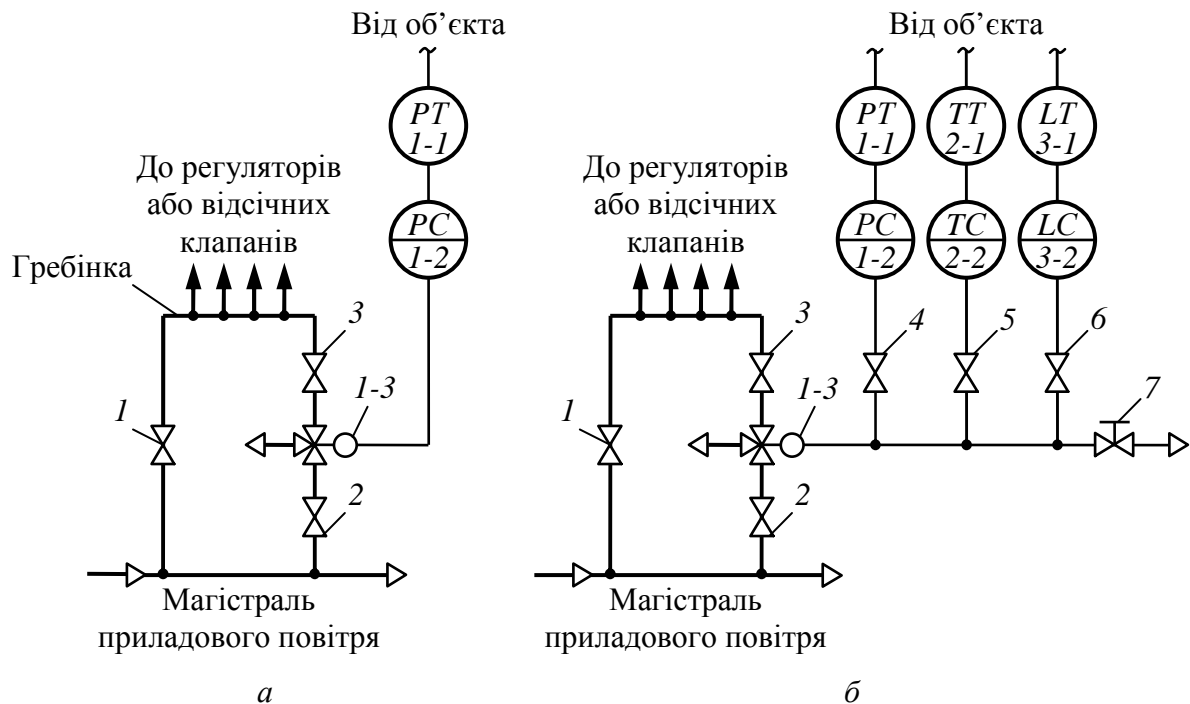


Рис. 158.13. Схема захисту складного об'єкта:

а – за допомогою триходового клапана; *б* – з використанням зворотних клапанів для розв'язки позиційних регуляторів; 1-1-3-1 – передавальні перетворювачі; 1-2-3-2 – позиційні регулятори; 1-3 – триходовий клапан; 1-3 – запірні вентилі; 4-6 – зворотні клапани; 7 – голчастий вентиль

Зворотні клапани 4, 5, 6 запобігають виходу повітря в атмосферу через позиційні регулятори, що не спрацювали. Голчастим вентилем 7 повертають схему захисту до вихідного стану. За частково відкритого голчастого вентилля схема захисту самостійно повертається у вихідний стан після відновлення нормального значення параметра.

Контрольні запитання та завдання

1. Чим регламентовано правила розроблення схем автоматизації? Якими загальними принципами слід керуватися, розробляючи схеми автоматизації?
2. Що і як зображують на схемах автоматизації?
3. Які цифрові позначення трубопроводів для рідин та газів передбачено чинним стандартом?
4. Які основні та додаткові значення мають літери в умовних літерних позначеннях технічних засобів автоматизації?
5. У чому полягає методика побудови умовних графічних позначень засобів автоматизації?

12.2. Приклади використання пневматичних схем автоматизації

Приклад1. Контроль витрати газу в технологічному трубопроводі

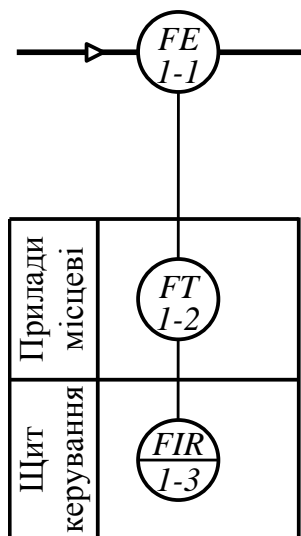


Рис. 159. Комплект технічних засобів⁹:

– на базі пневматичних технічних засобів автоматизації: 1-1 – звужувальний пристрій: діафрагма камерна ДКС0,6-75 (перша цифра означає умовний тиск P_y , МПа, друга – внутрішній діаметр трубопроводу $D_{тр}$, мм); 1-2 – пневматичний передавальний перетворювач перепаду тиску 13ДД11 із квадратичною функцією перетворення (якщо функції добутку кореня квадратного нема, то після 13ДД11 ставиться прилад добутку кореня ПФ1.17); 1-3 – пневматичний показувальний і реєструвальний прилад ФК0071 (система СТАРТ);

– на базі електричних технічних засобів автоматизації: 1-1 – звужувальний пристрій (окрім діафрагм – камерних і дискових, до стандартних звужувальних пристроїв також належать сопла ІСА 1932, сопла і труби Вентурі¹⁰); 1-2 – вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків САФІР мод. 2450; 1-3 – показувальний і реєструвальний аналоговий прилад ДИСК-250П або показувальний і реєструвальний аналого-цифровий РМТ 49D/1 (обидва – із вбудованими блоками добування квадратного кореня)¹¹.

⁹ Підбираючи технічні засоби автоматизації, необхідні для реалізації наведених схем автоматизації, перевага надавалася зразкам, виробленим в Україні (прим. авт.).

¹⁰ ДСТУ ГОСТ 8.586.(1–5):2009 (ІСО 5167-(1:4):2003) «Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Част. 1–5». – В Україні чинний від 1 квітня 2010 р.

¹¹ Останнім часом замість «класичних» реєструвальних приладів із паперовими носіями (діаграмами) дедалі більшого поширення набувають електронні реєстратори, призначені для нагромадження (архівування), зберігання, оброблення (зокрема й добування квадратного кореня) та відображення інформації про стан технологічного параметра – такі, наприклад, як реєстратор електронний МТМ-РЕ-160 (виробник НВП «Мікротерм», м. Сіверодонецьк).

Приклад 2. Контроль температури реакційної маси в апараті

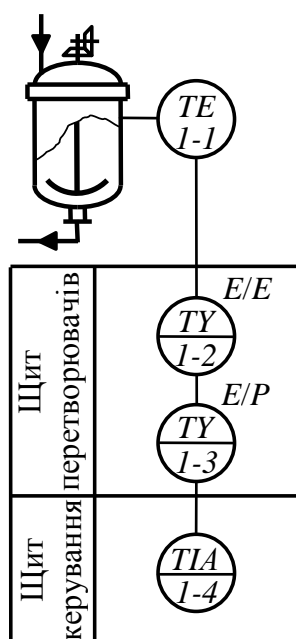


Рис. 160. Комплект технічних засобів: 1-1 – термоелектричний перетворювач ТХА-1087 (НСХ К); 1-2 – нормувальний перетворювач Ш 78 (або Ш 79, П 282, П 292, БПТ-22 тощо); 1-3 – електропневматичний перетворювач МТМ 810; 1-4 – прилад вторинний пневматичний показувальний із пневмосигналізацією ПКП.1П.

Приклад 3. Одноконтурна стабілізуюча САР температури (з використанням станції керування)

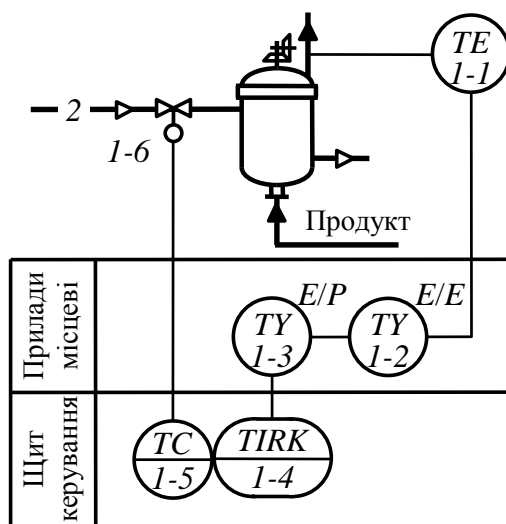


Рис. 161. Комплект технічних засобів: 1-1 – термоелектричний перетворювач з НСХ В, L, К тощо або термоперетворювач опору ТОП чи ТОМ градування 50П,

50М тощо; 1-2 – нормувальний перетворювач П 282Б або П 282В; 1-3 – електропневматичний перетворювач ПЕП-95; 1-4 – пневматичний показувальний і реєструвальний прилад ФК0071 (система СТАРТ) зі станцією керування; 1-5 – регулятор пневматичний пропорційно-інтегрально-диференціальний ФР0095 (система СТАРТ); 1-6 – виконавчий механізм мембранний пневматичний прямохідний МИМ ППХ 01 з боковим дублером.

Приклад 4. Схеми контролю з технологічною сигналізацією

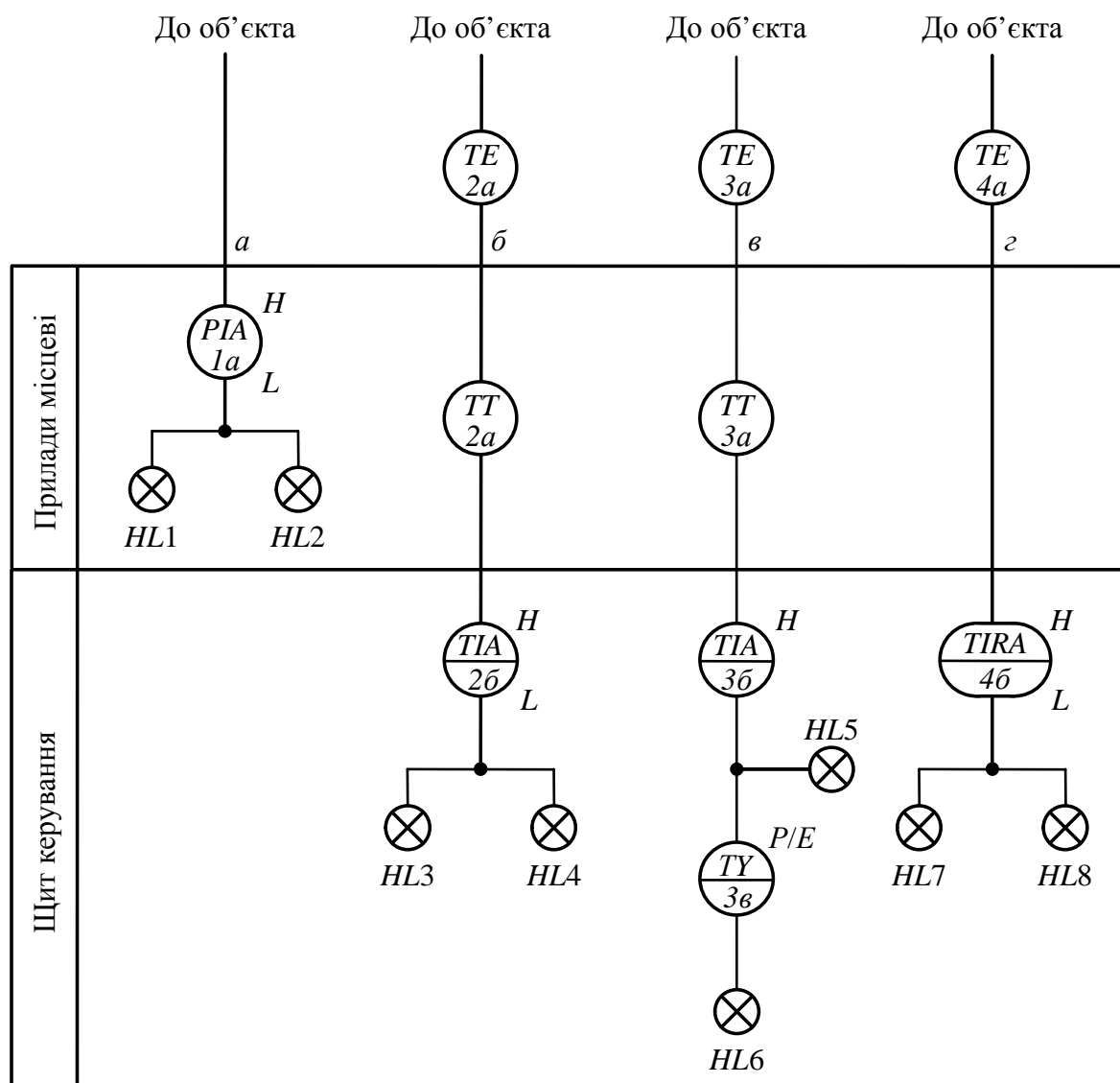


Рис. 162. Комплект технічних засобів: *a* – схема з місцевою сигналізацією; *б–г* – схеми сигналізації на щиті керування: *1a, 2б* – електроконтактні манометри (останній використано як вторинний прилад у схемі манометричного термометра); *HL1...HL4, HL6...HL8* – лампи електричні сигнальні; *HL5* – лампа пневматична сигнальна; *2a, 3a* – манометричні термометри (термобалон і проміжний перетворювач – пристрій дистанційного передавання сигналу, наприклад, безшкальний пневматич-

ний дифманометр 13ДД11); 3б – пневматичний показувальний вторинний прилад ПКП.1П з пневматичною сигналізацією граничнодопустимих значень (задіяно сигналізацію тільки верхнього значення); 3в – пневмоелектричний перетворювач МТМ 4000 РІ; 4а – термоелектричний перетворювач (НСХ В, L, К тощо) або термоперетворювач опору (ТОП чи ТОМ градуювання 50П, 100П, 50М, 100М); 4б – відповідний вторинний реєструвальний (паперовий або безпаперовий) прилад (серій ДИСК-250, РМТ, КС2, МТМ-РЕ-160, Мемограф-М тощо), оснащений пристроєм сигналізації.

**Приклад 5. Одноконтурна стабілізувальна САР температури
(з використанням панелі керування)**

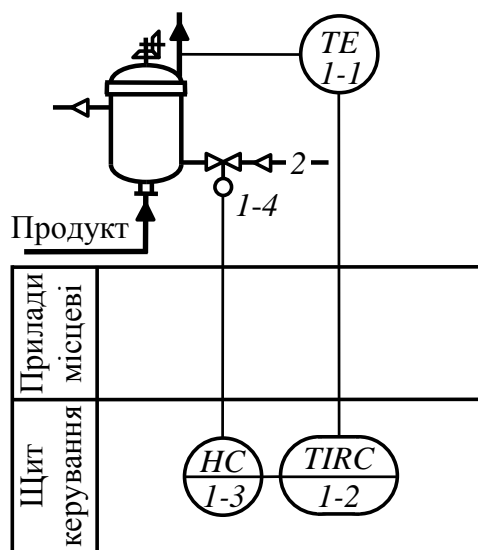


Рис. 163. Комплект технічних засобів: 1-1 – термоелектричний перетворювач з НСХ В, L, К тощо або термоперетворювач опору ТОП чи ТОМ градуювання 50П, 50М тощо; 1-2 – показувальний і реєструвальний прилад ДИСК-250И із вбудовним пропорційно-інтегральним регулювальним пристроєм з пневматичним вихідним сигналом 0,02...0,1 МПа; 1-3 – пневматична панель керування ДПУ.1; 1-4 – пневмодвигун поворотний ППР.

Приклад 6. Слідкувальна САР співвідношення витрат

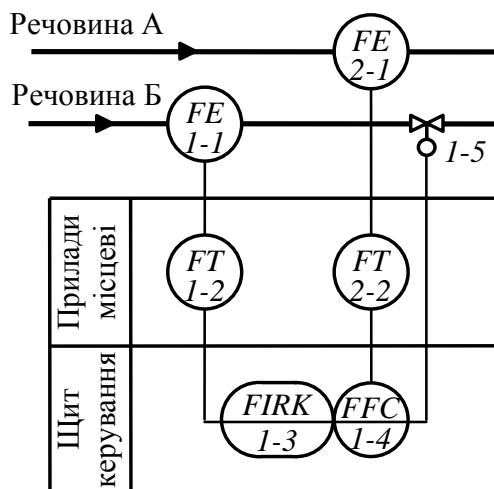


Рис. 164. Комплект технічних засобів: 1-1, 2-1 – звужувальні пристрої (труби Вентурі); 1-2, 2-2 – пневматичні передавальні перетворювачі перепаду тиску 13ДД11 із квадратичною функцією перетворення; 1-3 – пневматичний показувальний і реєструвальний прилад ФК0071 зі станцією керування; 1-4 – регулятор пневматичний пропорційно-інтегральний співвідношення ПР3.33-М1 (система СТАРТ); 1-5 – виконавчий механізм пневматичний мембранний прямохідний МИМП ППХ 05В з позиціонером ПП-1.25 і верхнім дублером.

Приклад 7. Система каскадно-зв'язаного регулювання температури

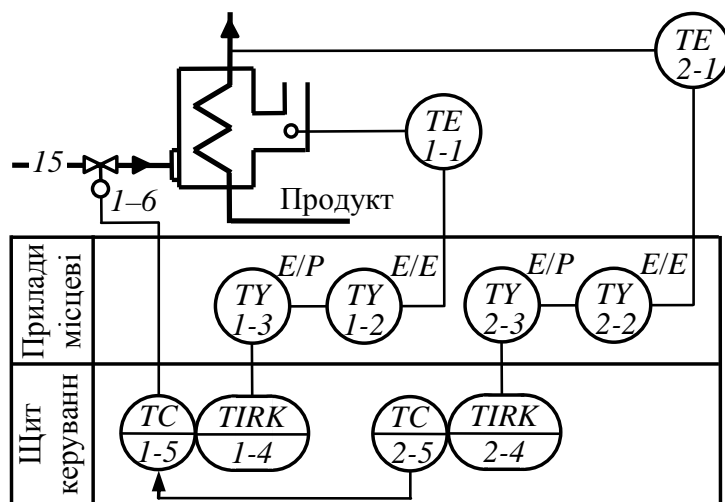


Рис. 165. Комплект технічних засобів: 1-1, 2-1 – термоелектричний перетворювач з НСХ В, L, К тощо або термоперетворювач опору ТОП чи ТОМ градуювання 50П, 50М тощо; 1-2, 2-2 – нормувальні перетворювачі Ш 79; 1-3, 2-3 – електропневматичні перетворювачі ПЕП-95 або багатоканальний електропневматичний перетворювач типу АСТРА-8М; 1-4, 2-4 – пневматичні показувальні та реєструвальні прилади ФК0071 зі станціями керування; 1-5, 2-5 – регулятори пневматичні пропорційно-інтегральні ФР0091 (допоміжний регулятор 2-5 формує завдання головному регулятору 1-5); 1-6 – пневмодвигун поворотний ППР-3-9, оснащений позиціонером пневматичним двобічної дії.

**Приклад 8. Система каскадно-зв'язаного регулювання рівня рідини
(регулювання витрати рідини з коригуванням за рівнем)**

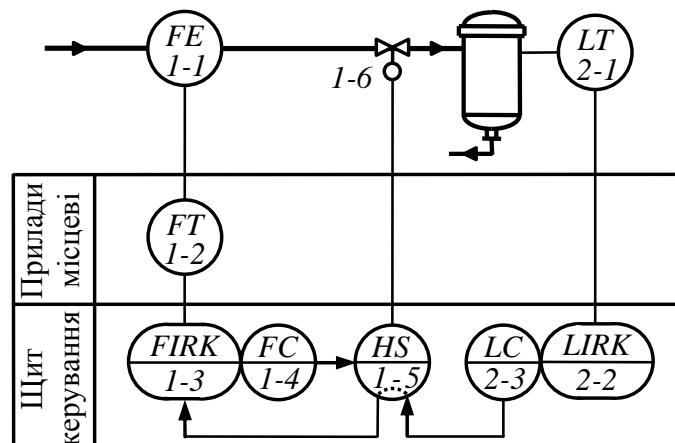


Рис. 166. Комплект технічних засобів: 1-1 – діафрагма камерна ДКС0,6-150; 1-2 – пневматичний передавальний перетворювач перепаду тиску 13ДД11 із квадратичною функцією перетворення; 1-3, 2-2 – вторинні пневматичні показувальні та реєструвальні прилади ФК0071 зі станціями керування; 1-4, 2-3 – регулятори пневматичні пропорційно-інтегральні ФР0091 (система СТАРТ); 1-5 – перемикач пневматичних каналів ПМТ-4; 1-6 – мембранний пневмопривід МП-150; 2-1 – буйковий рівнемір УБ-П з пневматичним передавальним перетворювачем ($P_{\text{вих}} = 0,02 \dots 0,1$ МПа).

Примітка. Перемикач 1-5 забезпечує перехід до одноконтурного регулювання рівня. Для отримання схеми регулювання витрати без коригування за рівнем, а також для ручного регулювання витрати використовується станція керування у вторинному приладі 1-3 (при цьому перемикач 1-5 переводиться в положення одноконтурного регулювання).

13. Пневматичні перетворювачі та системи передавання вимірювальної інформації

Системи передавання вимірювальної інформації з уніфікованим пневматичним сигналом застосовують у тих галузях промисловості, в яких згідно з умовами техніки безпеки недоцільне використання електричних систем передавання. Пневматична система передавання забезпечує надійне передавання інформації на відстань до 300 м, а з використанням спеціального підсилювача потужності – до 600 м (інформація передається каналами зв'язку, що являють собою пластмасову або металеву трубку внутрішнім діаметром 4...10 мм; швидкість поширення пневмосигналів – близько 300 м/с). За більших відстаней між об'єктом і пунктом приймання інформації точність системи передавання інформації зменшується.

Усі пневматичні перетворювачі, прилади та функціональні блоки уніфікованої системи елементів промислової пневмоавтоматики (УСЕ-ППА) містять механопневматичний перетворювач типу *сопло – заслінка* (його називають також керованим пневмодроселем), будову якого показано на рис. 167, а.

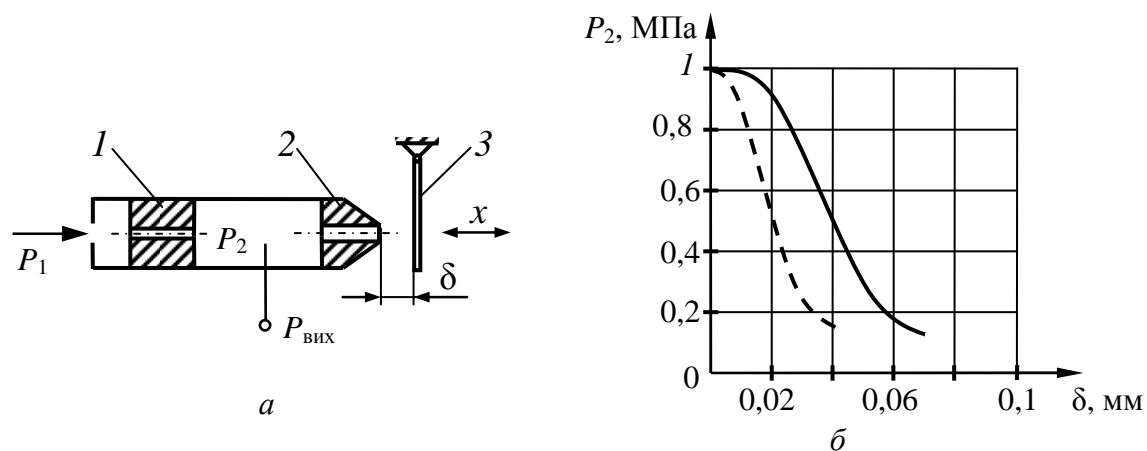


Рис. 167. Перетворювач типу *сопло – заслінка*: а – схема; б – робоча характеристика;

1 – сопло; 2 – заслінка; 3 – постійний пневмодросель

Стиснене повітря під постійним тиском P_1 від джерела тиску через постійний пневмодросель 1 (діаметр отвору 0,3 мм) надходить у проточну камеру формування вихідного сигналу P_2 , з якої через сопло 2 (діаметр отвору 0,6...0,8 мм), прикрите заслінкою 3, виходить в атмосферу (у цьому разі сопло із заслінкою утворюють керований дросель).

Положення заслінки 3, яка переміщується під впливом вимірюваного параметра x відносно сопла 2, визначає прохідний переріз та величину тиску P_2 у проточній камері, що сполучається з лінією зв'язку або із силовим елементом, куди спрямовується вихідний сигнал перетворювача $P_{\text{вих}}$.

Залежність між тиском P_2 та переміщенням заслінки δ нелінійна і виражається виразом

$$P_2 = \frac{P_1}{1 + 16 \frac{d_c^2 \delta^2}{d_{\text{пд}}^4}},$$

де d_c і $d_{\text{пд}}$ – діаметри сопла 2 та пневмодроселя 1 відповідно.

Оскільки величина переміщення заслінки δ (рис. 167, б) становить 0,02...0,06 мм (це наочно підтверджує, що за реалізації принципу компенсації зусиль переміщення дуже малі), а перетворювана за допомогою пружного ЧЕ зміна вимірюваного параметра в лінійне переміщення x зазвичай становить кілька міліметрів, то подальше перетворення такого значного переміщення здійснюється компенсаційним методом. Ефективнішим вважають метод компенсації зусиль (попри більші габарити, у пристроях, що реалізують метод компенсації переміщення, зазвичай виникають ще й значні зусилля реакції пружних елементів, сумарна величина яких потребує до-

даткового оцінювання щодо перевищення граничнодопустимих значень). Для зменшення похибки перетворення за рахунок жорсткості заслінки збільшують крутизну характеристики $P_2 = \varphi(\delta)$, підтримуючи сталий перепад тиску (зазвичай на пневмодроселі 1). Зміна тиску живлення P_1 (у межах $\pm 10\%$) суттєво не впливає на роботу перетворювача.

Структурну схему пневматичної системи передавання вимірювальної інформації показано на рис. 168. Система включає ПВП (джерело інформації) та приймач інформації, з'єднані між собою каналом зв'язку. Первинний вимірювальний перетворювач встановлюється безпосередньо на об'єкті, перетворює вимірюваний параметр Π_x в уніфікований пневматичний сигнал $P_{\text{вих}}$ і складається з ЧЕ та відповідного пневматичного перетворювача (сила – пневмосигнал, лінійне переміщення – пневмосигнал, кутове переміщення – пневмосигнал).

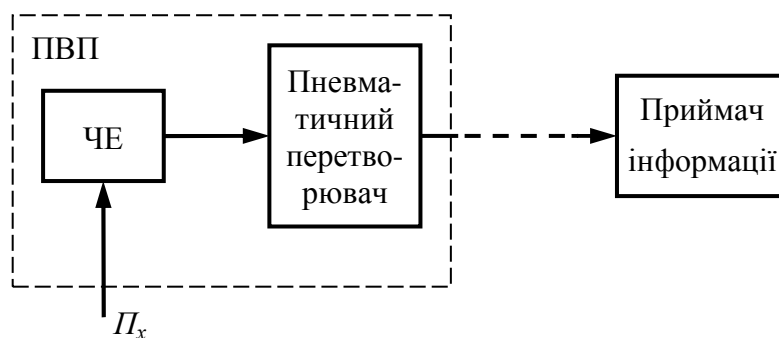
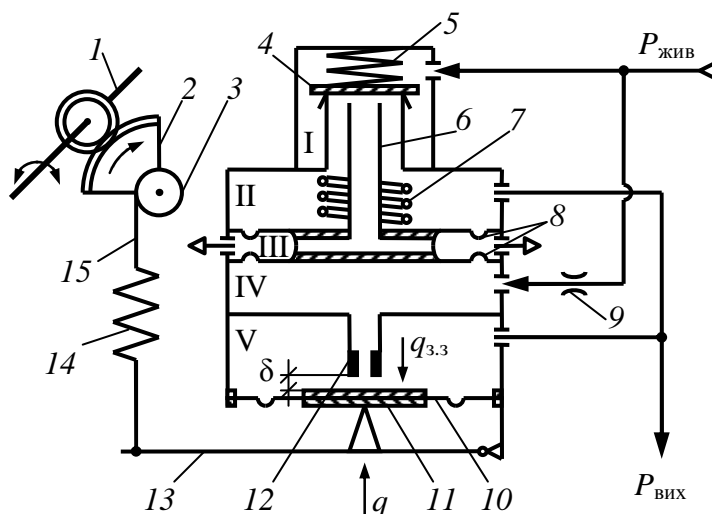


Рис. 168. Структурна схема пневматичної системи передавання вимірювальної інформації

Як ЧЕ можна використовувати будь-який чутливий елемент, що перетворює вимірюваний параметр Π_x у переміщення або силу. Наприклад, у разі вимірювання тиску чи іншого параметра, пов'язаного з тиском (густина, витрати тощо), таким ЧЕ може бути сильфон, одно- чи багатовиткова

Розглянемо будову та принцип дії деяких із наведених пневматичних перетворювачів.

Схему будови пневматичного передавального перетворювача типу ПП, що використовується як додатковий пристрій у первинних перетворювачах, а також у вторинних приладах типу КСП-3, КСМ-3, ДИСК-250 та інших, оснащених убудованими пневматичними пропорційно-інтегральними регулювальними пристроями, показано на рис. 169.



Вихідний пневмосигнал $P_{\text{вих}}$ формується у камері II, у яку повітря надходить із камери I через пластинчастий клапан 4, сполучений із

мембранним блоком 8 порожнистим штоком 6. У положенні, показаному на рис. 169, пластинчастий клапан 4 закрито зусиллям пружини 5, а камера II через порожнистий шток 6 і камеру III сполучена з атмосферою. У цьому разі вхідне зусилля q мале, відповідно, невеликі тиск у камері IV й опір на виході сопла 12, тому зусилля, що діє на мембранний блок 8 з боку камери IV, набагато менше, ніж зусилля, створюване пружиною 7.

Вхідний обертовий сигнал за допомогою зубчатого колеса 1, сектора 2, пружини 14 та важіля 13 перетворюється у вхідне зусилля q , яке заставляє мембранний блок 11 прикрити сопло 12, зменшуючи зазор δ . Внаслідок цього тиск в камері IV збільшується і порожнистий мембранний блок 8 разом із порожнистим штоком 6 підіймається вгору. При цьому пластинчастий клапан 4 також підіймається вгору і відкриває великий кільцевий зазор між камерами I і II та перекриває сполучення камери II з камерою III (атмосферою). В камеру II потрапляє великий за витратою імпульс силового тиску, який заставляє опускатись мембрану 8 до низу. Цей же силовий імпульс створює тиск виходу $P_{\text{вих}}$ і поступає через зовнішній зв'язок в камеру зворотного зв'язку V, створюючи за допомогою мембрани 11 зворотне зусилля $q_{3.3}$, яке зрівноважує вхідне зусилля q . При опусканні мембрани 8 до низу пластинчастий клапан 4 знов затуляє прохід між камерами I та II, внаслідок чого тиск в камері II і на виході почне спадати. Це викличе зменшення зусилля $q_{3.3}$ і зменшення зазору δ . Тиск в камері IV знов почне зростати, викликаючи рух мембран 8 вгору. Це знов викличе підняття (відкриття) клапана 4 і прихід нового імпульсу силового тиску повітря. Мембранний блок 8 знов почне опускатись і весь цей процес буде повторюватись з частотою 1000...2000 Гц.

Таким чином, автоматичне підтримання вихідного тиску $P_{\text{вих}}$ здійснюється за динамічної рівноваги мембранного блока: порожнистий шток 6 і пластинчастий клапан 4 перебувають у режимі незагасальних високочастотних коливань.

13.2. Пневмосилові перетворювачі

Принцип дії вимірювальних перетворювачів *сила – тиск*, призначених приймати інформацію від ЧЕ, вихідним сигналом яких є сила (мембрани, сильфони, манометричні пружини, буйки тощо), ґрунтується на пневматичній силовій компенсації. Принципову схему найпоширенішого пневмосилового перетворювача показано на рис. 170.

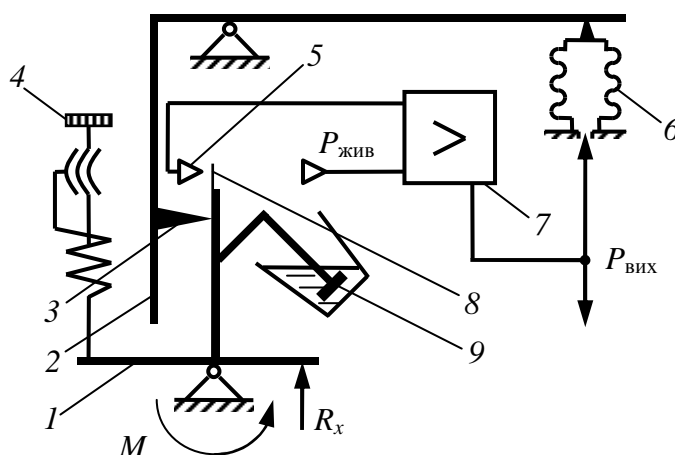


Рис. 170. Принципова пневматична схема пневмосилового перетворювача:

1, 2 – Т- та Г-подібний важелі; 3 – рухома опора; 4 – коректор нуля; 5 – сопло;
6 – сильфон зворотного зв'язку; 7 – пневмопідсилювач; 8 – заслінка; 9 – демпфер

Зусилля R_x , з яким вимірювальний блок (сильфон, мембрана, манометрична пружина, буйок) діє на пневмосиловий перетворювач, створює момент M , що спричиняє незначне переміщення Т-подібного важеля 1 та сполученої з ним заслінки 8 відносно нерухомого сопла 5. Зміна тиску в лінії сопла зумо-

влює зміну тиску на вході підсилювача потужності 7 і, відповідно, на виході перетворювача та в сильфоні зворотного зв'язку 6. Зусилля, створюване вихідним тиском $P_{\text{вих}}$ у сильфоні 6, через передавальний кінематичний механізм (Г-подібний важіль 2, Т-подібний важіль 1 і рухому опору 3) зрівноважує вхідне зусилля R_x , створюване вимірювальним блоком.

Пневмосиловий перетворювач оснащено коректором нуля 4, призначеним для встановлення потрібного значення вихідного сигналу $P_{\text{вих}}$ без прикладання зусилля на вході перетворювача. Коригування діапазону вимірювання здійснюється переміщенням рухомої опори 3. У демпфері 9 використовують кремнієорганічну рідину або спеціальне демпферне масло.

Вимірювальні блоки перетворювачів уніфіковані, вони розрізняються між собою тільки розмірами та розміщенням ЧЕ вимірювального блока.

13.3. Пневматичні вторинні прилади

Приймачами інформації від пневматичних вимірювальних каналів і систем передавання, окрім регуляторів, перетворювачів, функціональних блоків тощо, є пневматичні вторинні прилади (показувальні та самописні) зрівноважувального перетворення. Вони не обмежені певними вимірюваними параметрами, а можуть відображати вимірювальну інформацію від усіх ПВП, що мають стандартний пневматичний сигнал (0,02...0,1 МПа), незалежно від того, які саме фізичні величини вимірюють ці ПВП, тому їх шкали відградувано не в одиницях виміру цих величин, а у відсотках.

Принцип дії вимірювального механізму пневматичних вторинних приладів ґрунтується на методі силової компенсації, за яким момент, що утворює ЧЕ, зрівноважується моментом, утворюваним пружиною зворотного зв'язку. Ці прилади входять у ДСП і забезпечують вищу точність вимірювань, ніж прилади прямої дії.

Показувальні прилади. Принципову схему приладу ПКП.1 (реєструвальні прилади цього типу мають модель ПКР) показано на рис. 171.

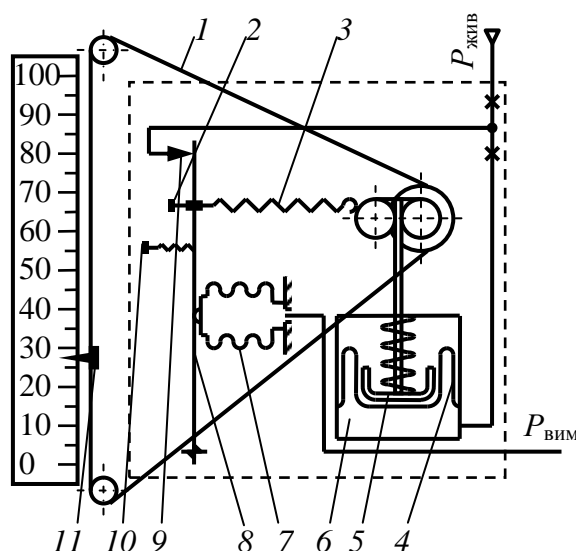


Рис. 171. Принципова схема показувального вторинного приладу ПКП.1:

- 1 – тросик; 2, 10 – гвинти; 3 – пружина зворотного зв'язку; 4 – манжетна мембрана;
5 – поршень; 6 – циліндр пневматичного сервомеханізму; 7 – сильфон; 8 – важіль;
9 – сопло; 11 – каретка зі стрілкою

Вхідний тиск стисненого повітря (вимірюваний сигнал від пневматичного ПВП) $P_{\text{вим}}$, пропорційний вимірюваній величині, надходить у сильфон 7. Зусилля, що розвивається сильфоном, передається на важіль 8, який, повертаючись навколо пружної опори, прикриває сопло 9 пропорційно величині вхідного сигналу. Через це змінюється тиск у лінії сопла та циліндрі 6 пневматичного сервомеханізму, що зумовлює переміщення поршня 5, ущільненого манжетною мембраною 4.

Поступальний рух поршня перетворюється в обертальний рух вихідного вала, на якому жорстко закріплено шків, що за допомогою тросика 1 приводить у рух каретку зі стрілкою 11. Поршень сервомеханізму переміщуватиметься, повертаючи вихідний вал і змінюючи тим самим натяг пружини зворотного зв'язку 3 доти, доки створений натягом пружини момент не зрівню-

важить момент сильфона 7. Новому стану рівноваги відповідає нове положення стрілки приладу. На нульову відмітку стрілка приладу наводиться обертанням гвинта 10, діапазон вимірювання налагоджується обертанням гвинта 2.

Прилади ПКП мають лінійну шкалу; клас точності – 0,5 або 1.

Реєструвальні прилади типу ФК (ПВ) були розглянуті раніше (див. розділ 3.5, рис. 25).

13.4. Робота станцій керування вторинних приладів системи «СТАРТ»

Як було вже відмічено (див. розділ 3.5), у приладів ПВ3.2, ПВ10.1Е, ПВ10.1П, ПВ10.2Е, ПВ10.2П, ФК.0071 є можливість керувати роботою пневматичних регуляторів за допомогою вбудованої станції керування. Крім того, прилади ПВ10.1Е, ПВ10.1П, ПВ10.2Е, ПВ10.2П, ФК.0071 мають можливість записувати значення вимірюваних параметрів на діаграмну стрічку, яка протягується за допомогою спеціального стрічкопротягувального механізму. Принципова схема такої станції керування показана на рис. 172.

До складу станції керування входять трисоплові реле відключення 1 та 2, виходи яких пов'язані із блоками вимірювання «ЗАВДАННЯ» та «КЛАПАН» вторинного приладу, підсилювач потужності 3, двосоплові реле 4,5, та 6 з вбудованими кнопками керування, пневматичний задавач тиску 7 з винесеною на лицьову панель ручкою керування та дросель γ . Треба відмітити, що сигнал про вимірюваний параметр поступає на блок вимірювання «ЗМІННА» через штуцер 2, розташований на задній стінці приладу. Також на задній стінці приладу розташовано клемний блок I для монтажу регулятора та група штуцерів II для підводу та відводу вхідних та вихідних сигналів. П'ять кнопок керування, розташованих на лицьовій панелі, дозволяють вести ручний «Р», автоматичний «А» і автопрограмний «АП» процес керування та включати «ВКЛ» та відключати «ОТКЛ» при

потребі регулятор. В таблиці 18 наводиться комутаційне положення цих кнопок та зв'язок трьох шкал приладу «ЗМІННА», «ЗАВДАННЯ» і «КЛАПАН» з відповідними входними штуцерами: штуцер 1 – вихід з регулятора; 2 – вхідний сигнал «ЗМІННА»; 3 – до реле відключення регулятора; 4 – підвід живлення; 5 – підвід сигналу завдання «ЗАВДАННЯ» на вхід регулятора; 6 – підвід зовнішнього сигналу завдання від зовнішнього програмного задавача «ПРОГРАМА»; 7 – вихід сигналу керування «КЛАПАН» на виконавчий механізм. В таблиці наводиться три основні (Р, А, АП) та чотири перехідні стани (з Р на А, з А на АП, з АП на А та з А на Р). Знаком «×» позначено утоплене положення кнопок.

Як видно із рисунка та таблиці, в проміжних положеннях та при ручному керуванні регулятор має бути у відключеному стані. Якщо виникає потреба перейти від одного стану до іншого, то спочатку вмикають чи вимикають кнопки «ВКЛ» та «ОТКЛ». Треба відмітити, що при натиснутій кнопці «ОТКЛ» на вхід реле відключення регулятора (штуцер 3 на клемному блоці I) поступає від реле 6 командний тиск $P_K = 0,14$ МПа, а при натиснутій кнопці «ВКЛ» – $P_K = 0$.

Робота станції керування в положенні, показаному на рисунку, відбувається наступним чином. При натиснутій кнопці «Р» кульковий клапан перекриває вхід тиску живлення до виходу двосоплового реле 4 і в камеру керування А реле відключення 2 поступає нульовий сигнал. В наслідок цього під дією пружини, яка розташована в камері В мембранний блок цього реле опускається вниз, сопло C_1 відкривається і сигнал керування, який створюється за допомогою задавача 7 та підсилювача потужності 3 поступає на блок вимірювання «КЛАПАН» та на вихід до виконавчого механізму через штуцер 7. При цьому кнопка «ВКЛ» двосоплового реле 6

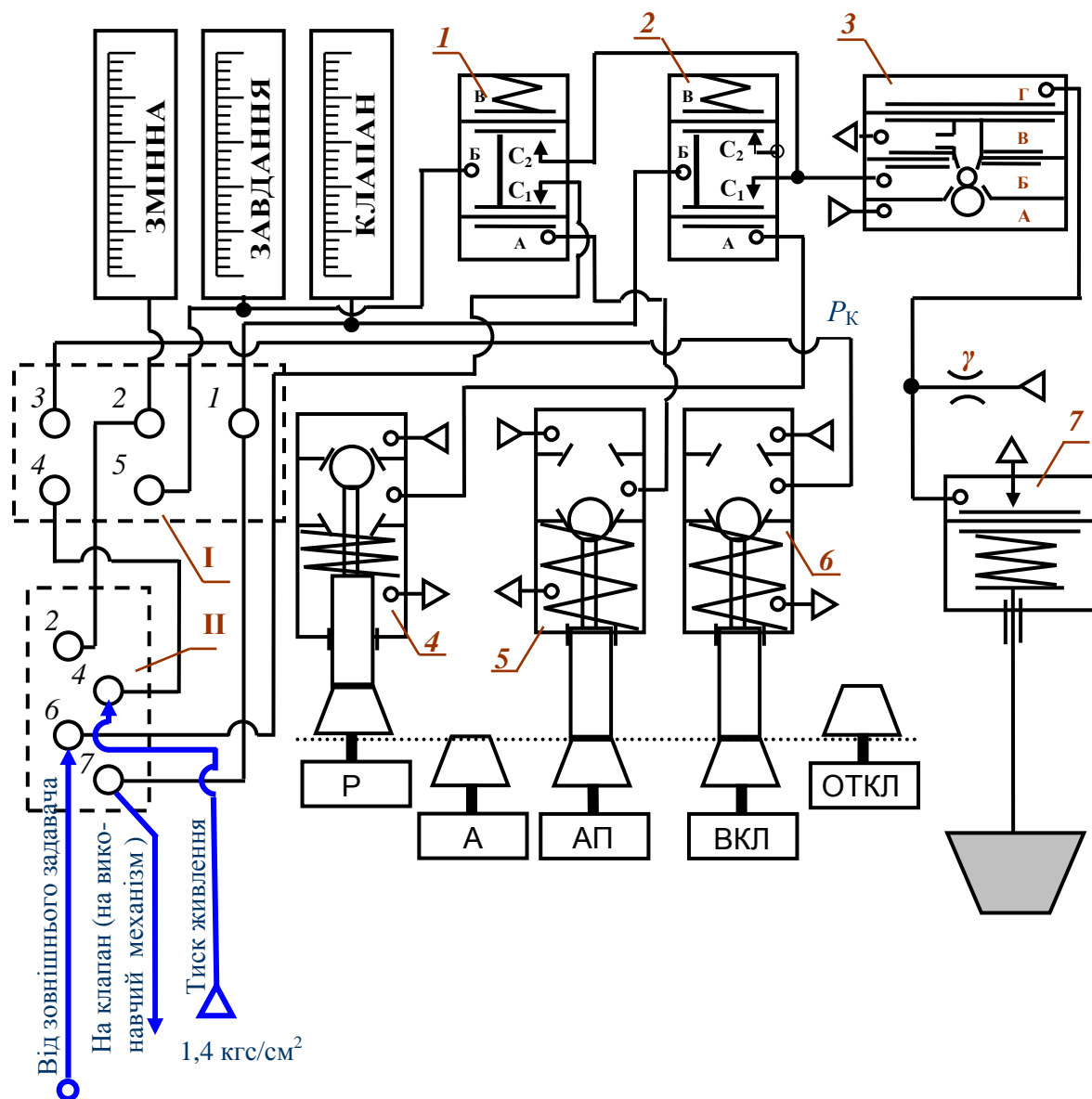


Рис. 172. Станція керування приладів ПВ3.2, ПВ10.1Е, ПВ10.1П, ФК.0071:
1, 2 – трисоплові реле відключення; **3** – підсилювач потужності П2П.3;
4, 5, 6 – двосоплові реле з кнопками керування; **7** – ручний задавач тиску;
I – клемний блок регулятора; **II** – штуцера для підводу та відводу вхідних та вихідних сигналів

знаходиться у відтиснутому стані і з виходу цього реле поступає сигнал $P_K = 0,14$ МПа через штуцер 3 до реле переключення режиму роботи регулятора, яке знаходиться в самому регуляторі. Вихід регулятора відключено і керування виконавчим механізмом ведеться тільки за допомогою ручки задавача 7, розташованої на лицевій панелі станції керування.

Таблиця 11. Положення кнопок керування та комутація елементів приладів ПВ3.2, ПВ10.1Е, ПВ10.1П, ФК.0071

Стан станції керування	Положення кнопок					Комутація шкал		
	«Р»	«А»	«АП»	«ВКЛ»	«ОТКЛ»	«ЗМІН-НА»	«ЗА-ВДАН-НЯ»	«КЛАПАН»
Режим Р	×				×	Штуцер 2	Задавач 7 Штуцер 5	Задавач 7 Штуцер 1
Перехід Р→А		×			×	Те саме	Задавач 7 Штуцер 5	Штуцер 1
Режим А		×		×		- " -	Задавач 7 Штуцер 5	Штуцер 1
Перехід А→АП					×	- " -	Те саме	Те саме
Режим АП			×	×		- " -	Штуцера 5 та 6	- " -
Перехід АП→А		×			×	- " -	Задавач 7 Штуцер 5	- " -
Перехід А→Р		×			×	- " -	Задавач 7 Штуцер 5	- " -

Для приладів ПВ10.2Е та ПВ10.2П станція керування має дещо інший вигляд, показаний на рис. 173. Ця станція також дозволяє вести процес керування вихідними пристроями в трьох режимах: ручному – «Р», автоматичному – «А» та автоматичному програмному – «АП». Переключення з одного режиму в інший та в проміжні положення здійснюється за допомогою п'яти кнопок керування – «Р», «А», «АП», «ВКЛ» та «ОТКЛ». Змінна, яка регулюється, підводиться до штуцера 2 – 1 і подається на шкалу приладу, розташовану поруч зі шкалою завдання та на штуцер 2 регулятора. В приладі ПВ10.2П друга змінна подається на штуцер 2 – 2 (в приладі ПВ10.1П цей штуцер заглушено).

При ручному керуванні сигнал від задавача VI через підсилювач потужності VII та клапан I безпосередньо подається на виконавчий механізм

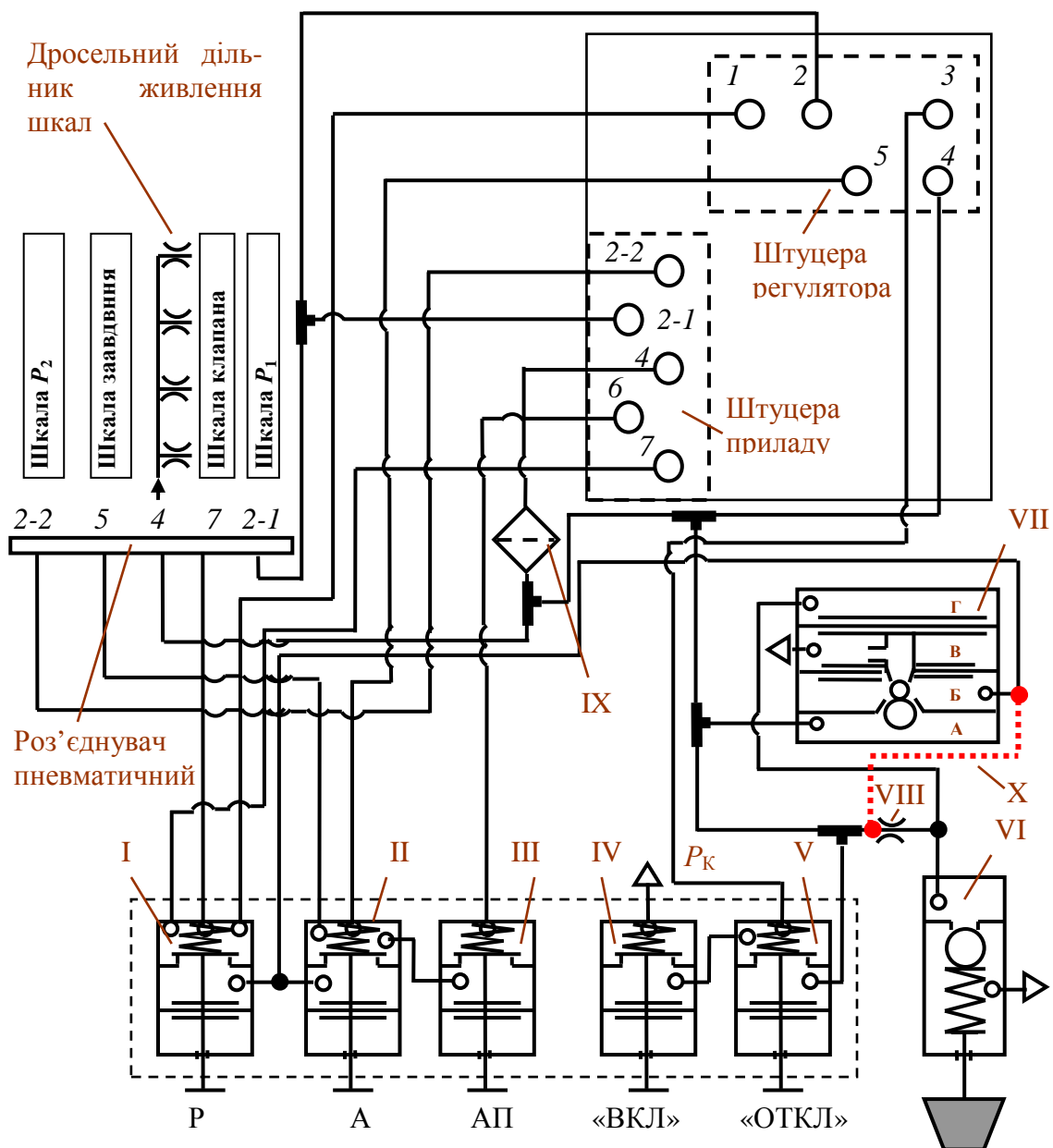


Рис. 173. Принципова пневматична схема станції керування приладу ПВ10.2П: I, II, III, IV, V – клапани перемикання з кнопками керування; VI – кульковий задавач П-1134; VII – підсилювач потужності П2П.3 (П – 1100); VIII – пневматичний дросель П2Д4 – 2; IX – фільтр ПОФ2; X – лінія додатного зворотного зв'язку, яка знижує надійність каналу регулювання (якщо відсутнє пряме живлення дроселя VIII)

через штуцер 7. При цьому клапан I та клапан V мають бути у ввімкненому стані (кнопки «Р» та «ОТКЛ» утоплені). Також сигнал керування буде поступати на вихід регулятора 1, на вихід приладу через штуцер 7 та на

шкалу клапана приладу. Безпосередній вихідний сигнал регулятора буде відключено при допомозі реле відключення регулятора завдяки високому рівню командного сигналу $P_K = \text{«1»}$ (дорівнює тиску живлення), який буде виходити з клапана V на штуцер 3 регулятора. Треба відмітити, що в заводських інструкціях живлення дроселя VIII здійснюється через додатній зворотній зв'язок X, показаний пунктиром. Але така схема живлення потребує дуже щільного та надійного герметичного з'єднання лінії вихідного сигналу, що саме по собі зменшує надійність лінії керування, бо найменше протравлювання приведе до неможливості заживлення дроселя VIII через лінію додатного зворотного зв'язку X.

При переході з ручного режиму керування «Р» на автоматичний «А» спочатку натискають кнопку «А», що викликає повернення кнопки «Р» в початкове положення, тобто у вимкнений стан. Клапан I закривається і відсікає сигнал задавача від виконавчого механізму, а клапан II відкривається і з'єднує лінію задавача через штуцер 5 регулятора з каналом завдання регулятора та шкалою завдання приладу через пневматичний роз'єднувач. При вимкненому регуляторі (кнопка «ОТКЛ» натиснута) за допомогою ручки задавача VI встановлюють сигнал завдання по шкалі завдання такий, що має дорівнювати сигналу змінної (яка поступає на штуцер 2 – I), готуючи регулятор до переходу на автоматичний режим.

При вмиканні кнопки «ВКЛ» відбувається відключення кнопки «ОТКЛ», що викликає з'єднання реле відключення регулятора (штуцер 3 регулятора) через клапан IV з атмосферою, тобто $P_K = \text{«0»}$, та підключення виходу регулятора (штуцер 1 регулятора) до виконавчого механізму через клапан I і штуцер 7 та до шкали вихідного сигналу на приладі. Сигнал завдання від ручного задавача продовжує поступати в канал завдання регулятора та на шкалу завдання приладу.

При перемиканні регулятора з автоматичного режиму регулювання «А» в автоматичний програмний режим «АП» спочатку при включеній кнопці «А» відключають вихідний сигнал регулятора, натиснувши кнопку «ОТКЛ» і подавши з клапана V високий рівень командного сигналу $P_K = \text{«1»}$ (який дорівнює тиску живлення) через штуцер 3 регулятора на реле відключення регулятора. При цьому сигнал завдання від задавача VI продовжує поступати в канал завдання регулятора (штуцер 5) та на шкалу завдання вторинного приладу. Для того, щоб запобігти значному поштовху в лінії виконавчого механізму в момент переключення з режиму «А» в режим «АП», треба слідкувати за зміною сигналу завдання програмного задавача (якщо нема в нього власної шкали, то це можна здійснювати по шкалі завдання приладу контролю, натиснувши кнопку «АП», але при відключеному виході регулятора) і в момент, коли два сигнали завдання порівнюються (виникне їх збіжність), підключити вихід регулятора, натиснувши кнопку «ВКЛ».

Тобто, в режимі «АП» мають бути натиснуті дві кнопки: «АП» і «ВКЛ». В цьому випадку сигнал від зовнішнього програмного задавача, який приходить на штуцер 6, буде поступати через клапани III та II на вхід завдання регулятора та на шкалу завдання приладу. Внутрішній ручний задавач приладу VI буде відключено, так як клапан II буде закритий. Керування виконавчим механізмом буде здійснюватись регулятором (через штуцер 1 регулятора, клапан I та штуцер 7 приладу) по програмі зовнішнього задавача, так як в цьому випадку $P_K = \text{«0»}$ і реле відключення регулятора з'єднує його вихід з виконавчим механізмом.

Якщо виникає потреба перейти з автоматичного програмного регулювання «АП» на автоматичне регулювання «А», то спочатку відключають регулятор, натиснувши кнопку «ОТКЛ» і натискають кнопку «А» та за допомогою внутрішнього задавача приладу VI встановлюють сигнал завдан-

ня такий самий, як і на програмному задавачі. В момент їх збігання включають регулятор, натиснувши кнопку «ВКЛ».

При переході з автоматичного регулювання «А» на ручне «Р» , як і в інших випадках, спочатку відключають регулятор, натиснувши кнопку «ОТКЛ». Але кнопка «А» лишається в натиснутому стані. При цьому як регулятор, так і ручний задавач будуть відключеними від виконавчого механізму, сигнал на який буде надходити з ємності інтегральної ланки регулятора. Після цього по шкалі завдання ручним задавачем установлюють тиск, який дорівнює тиску на шкалі клапана (тобто той, що зберігся на виконавчому механізмі). Далі натискають кнопку «Р» і переходять в режим ручного керування виконавчим механізмом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабіченко А. К, Тошинський В. І., Михайлов В.С., Молчанов В. І., Подустов М.О., Пугановський О.В., Вельма В. І. Промислові засоби автоматизації. Ч. 2 Регулювальні і виконавчі пристрої/ За заг. ред. А. К. Бабіченка: Навч. посібник / - Харків, НТУ “ХПІ”, 2003 р. – 658 с.
2. Берендс Т.К., Ефремова Т.К., Тагаевская А.А., Юдицкий С.А. Элементы и схемы пневмоавтоматики, – М., “Машиностроение”, 1976 г. – 246 с.
3. Болита Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. – М.: Машиностроение, 1972. – 310 с.
4. Булгаков Б.Б., Кубрак А.И. Пневмоавтоматика. – Киев, “Техніка”, 1977 г. – 192 с.
5. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчёт пневмоприводов. – М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
6. Жарковский Б. И. Приборы автоматического контроля и регулирования. – М.: Высшая школа, 1983. – 312 с.
7. Залманзон Л.А. Проточные Элементы пневматических приборов контроля и управления. – М.: Изд – во АН СССР, 1961. – 247 с.
8. Ибрагимов И. А., Фарзани Н.Г., Илясов Л.В. Элементы и системы пневмоавтоматики: учебник для вузов по специальности “Автоматизация и комплексная механизация хим.- технол. процессов”. – издание 2-е, перераб. и дополн.- М.: Высшая шк., 1985. – 544 с.
9. Кошарский Б.Д. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы: Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1976. – 488 с.
10. Лебедев И.В., Трескунов С.Л., Яковенко В.С. Элементы струйной автоматики. – М.: Машиностроение, 1975. – 360 с.
11. Пономарёв В. М., Основы автоматического регулирования и управления. Под ред. Пономарёва В. М. и Литвинова А. П. Учебное посо-

бие для не Электротехн. специальностей вузов, М.: «Высшая школа», 1974
– 439 с

12. Федорець В. О., Педченко М. П. та інші/ За заг. ред.
Федорця В. О./ Гідроприводи та гідропневмоавтоматика .

13. Фудим Е.В. Пневматическая вычислительная техника. М.: «Наука»,
1973.– 528 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Етапи розвитку пневмоавтоматики.
2. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = 2P_1 + P_2/2 + P_3$.
3. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = 3P_1 - P_2/2$.
4. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = 4P_1 + 3P_2 - P_3/2$.
5. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = 2P_1 - P_2/2 + P_3$.
6. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = (P_1 + 2P_2 + P_3)/2$.
7. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = 2P_1 - P_2/2 + P_3$.
8. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = (P_1 + 2P_2 + P_3)/2$.
9. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = P_1 + 2P_1 + 4P_1 + \dots$
10. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = P_1 + P_1/2 + P_1/4 + \dots$
11. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = P_1 + (P_2 + P_3)/2$.
12. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = (P_1 - P_2 + P_3)/2$.
13. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = (P_1 + 2P_2 + 4P_3)/2$.
14. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = (P_1 + P_2)/2 + 2P_3$.
15. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = P_1/3$.
16. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = 3P_1 - P_2/2 + P_3$.
17. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = (4P_1 - P_2/2)/2$.
18. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = (P_1 - P_2)/2 + (P_1 + P_2)/2$.
19. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = 3P_1 - P_2/2 - P_3$.
20. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = (P_1 - P_2)/2 + 3P_3$.
21. Виконати операцію: $P_{ВИХ} = 4P_1 - 3P_2/2$.
22. Схема множення сигналу на $K \geq 1$.
23. Схема множення сигналу на $K \leq 1$.
24. Схема пропорційної ланки.
25. Схема пропорційної ланки з лінійними характеристиками.

26. Робота генератора прямокутних імпульсів.
27. Призначення імпульсатора при роботі генератора.
28. Генератори лінійно зростаючого тиску.
29. Робота перетворювача сопло-заслінка.
30. Знаходження суми двох сигналів на сифонно-важільних засобах.
31. Виконання логічної операції «І» на пневматичному реле П1Р.1.
32. Виконання логічної операції «АБО» (російською мовою – «ИЛИ») на пневматичному реле П1Р.1.
33. Схема множення сигналу на $K \geq 1$ з використанням додатного зворотного зв'язку.
34. Виконання логічної операції «НІ».
35. Виконати операцію «ЯКЩО – ТО».
36. Виконати операцію «ЗАПЕРЕЧЕННЯ АБО».
37. Схема повного суматора на елементах П1Р.1.
38. Схема логічної операції «4І – НІ».
39. Схема регулятора ПР2.5.
40. Схема регулятора ПР3.21.
41. Схема та робота регулятора ПР3.31.
42. Схема регулятора співвідношення ПР3.23.
43. Схема регулятора співвідношення ПР3.33.
44. Схема регулятора співвідношення ПР3.24.
45. Схема регулятора співвідношення ПР3.34.
46. Схема ПД-регулятора ПР3.25.
47. Будова блока вимірювання приладу ПВ10.1Е.
48. Робота мембранного виконавчого механізму.
49. Призначення позиціонера при роботі мембранного виконавчого механізму.
50. Робота поршневого слідкуючого привода.

- 51. Виконання логічної операції «ТАК».
- 52. Робота елемента системи компенсації переміщення.
- 53. Робота блоку вимірювання пневматичних вторинних приладів.
- 54. Призначення станції керування приладів ПВ10.1Е.
- 55. Будова нормально відкритого мембранного виконавчого механізму.
- 56. Схема регулятора ФР.0091.

ДОДАТОК 2

ПЕРЕЛІК СУЧАСНИХ РЕГУЛЯТОРІВ СИСТЕМИ «СТАРТ»¹²

Таблиця 1. Регулятори системи «СТАРТ»

Найменування пристрою	Тип	Функціональне призначення	Габаритні розміри, мм	Витрата повітря, л/хвил	Маса, кг
1	2	3	4	5	6
Пристрій алгебраїчного підсумовування	ПФ1.1 М1	Алгебраїчне складання трьох пневматичних сигналів, два з яких зі знаком "+" і один зі знаком "-". Прилад може бути використаним для множення на два одного сигналу, ділення на два одного чи суми двох сигналів, зміни знаку сигналу.	85x140 x106	4,5	1,3
Пристрій витягання квадратного кореня	ПФ1.17М1	Витягання квадратного кореня з сигналу, що надходить на вхід пристрою.		6	1,5
Пристрій множення на постійний коефіцієнт	ПФ.3.9М1	Множення вхідного параметра на постійний коефіцієнт.		4	1,3
Прискорювач пневматичного сигналу	ПФ.2.5М1	Прискорення передачі дискретних пневматичних сигналів від пристрою, що формує цей сигнал, до пристрою, що сприймає його		1,4	
Пристрій селектування сигналів	ПФ4/5.1М1	Порівнювання двох пневматичних сигналів і видача сигналу, що дорівнює більшому чи меншому з них (залежить від настроювання)		3	1,1

¹² Бабіченко А.К., Тошинський В.І., Михайлов В.С., В.І.Молчанов В.І., ПодустовМ.О.,Пугановський О.В., Вельма В.І.. . Промислові засоби автоматизації.Ч.2 Регулювальні і виконавчі пристрої/ За заг. ред. А.К.Бабіченка: Навч. посібник / - Харків, НТУ "ХПІ", 2003 р. – 658 с.– с. 170...172

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
Підсилювач потужності	ПП1.5М1	Передача на відстань сигналу підсиленого за потужністю (за витратою повітря) з метою виключення впливу опору лінії зв'язку	85x140 x138	1,5	0,56
Реле перемикання	ПП2.5 М1	Комутація пневматичних каналів	100x77 x124	-	0,5
Пристрій обмеження сигналу	ПП11.М1	Обмеження сигналу за максимумом чи мінімумом (залежить від налаштування)	85x140 x106	4,5	1,2
Регулятор позиційний	ПР1.5М1	Двопозиційне регулювання і сигналізація відхилень параметра від заданого значення. Зонавороття (\pm) 1%	106x85 x141	3	1,2
Регулятор позиційний з налаштуванням зоною вороття	ПР1.6М1	Отримання двох межових дискретних сигналів при виході параметра за граничні значення зони вороття. Діапазон налаштування зони (10-80 кПа)	85x140 x106	4	1,3
Регулятор пропорційний	ФР0098	Неперервне регулювання за пропорційним алгоритмом ($\delta = 2 \div 3000\%$)	121x205 x112	2,5	1,8
Регулятор пропорційно-інтегральний	ФР0091	Неперервне регулювання за пропорційно-інтегральним алгоритмом ($\delta = 2 \div 3000\%$, $T_i = 0,05 \div 100$ хвил)	121x205 x112	4,5	2
Пристрій прямого попередження	ПФ2.1М	Увід у ланцюг регулювання якого-небудь процесу впливу за швидкістю відхилення параметра від заданого значення	85x140 x106	3	1,5

Закінчення таблиці 1.

1	2	3	4	5	6
Регулятор пропорційно-інтегральний з місцевим задавачем	ФР0092	Додатково до функцій попереднього має можливість формування сигналу завдання	121x205 x112	4,5	2
Регулятор пропорційно-інтегрально-диференційний	ФР0095	Неперервне регулювання за пропорційно-інтегральним алгоритмом ($\delta = 2 \div 3000 \%$, $T_i = 0,05 \div 100$ хвил, $T_d = 0,05 \div 10$ хвил)	182x121 x205	5	3,5
Регулятор пропорційно-інтегральний співвідношення	ПР3.33МІ	Неперервне регулювання за пропорційно-інтегральним алгоритмом співвідношення двох параметрів ($\delta = 2 \div 3000 \%$, $T_i = 0,05 \div 100$ хвил, $C = 1:1 \div 5:1$ чи $1:1 \div 10:1$)		6	3,3
Регулятор пропорційно-інтегральний співвідношення з корекцією по третьому параметру	ПР3.34МІ	Неперервне регулювання за пропорційно-інтегральним алгоритмом співвідношення двох параметрів з можливістю зміни його у залежності від третього параметра. (Діапазони органів налаштування ідентичні попередньому)		8	3,7
Пристрій зворотного попередження	ПФ3.1М	Гальмування впливу регулятора, що викликаний зміною параметра регулювання на об'єкт	85x140 x106	1,5	1,25
Примітка: $\delta = (100/K_p)\%$ - межа пропорційності; С – співвідношення параметрів.					

ДОДАТОК 3

ТИПИ АНАЛОГО – ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Основою будь-якого цифрового приладу служить аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який здійснює дискретизацію, квантування і кодування інформації.

Дискретизація - є процес отримання відліків значень вимірюваної величини в певні дискретні моменти часу.

Безперервна величина $x(t)$ замінюється послідовністю відліків $x(t_k)$, взятих в моменти часу t_k . Зазвичай проміжки часу між двома послідовними відліками $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ вибираються однаковими. У цьому випадку говорять, що крок дискретизації Δt постійний.

Процес *квантування* полягає в заміні неперервних значень величин $x(t)$ кінцевим набором її дискретних значень x_n . Кожне з цих значень збігається з одним зі встановлених рівнів квантування, віддалених один від одного на інтервал (крок) квантування.

Кодуванням називається процес подання чисельного значення величини певною послідовністю цифр або сигналів, тобто кодом.

Аналого-цифрові перетворювачі - це вимірювальні перетворювачі, призначені для автоматичного перетворення вимірюваної величини в цифровий код.

Розрізняють АЦП:

- з часо-імпульсним перетворенням;
- з частотно-імпульсним перетворенням;
- порозрядного врівноваження;
- слідкуючого врівноваження або послідовного наближення;
- паралельного або миттєвого перетворення.

АЦП з часо-імпульсним перетворенням

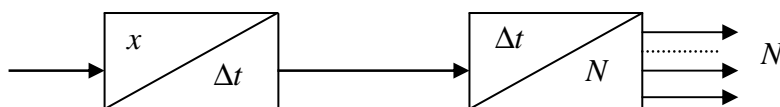


Рис.1

Складається з двох перетворювачів:

Перший перетворює вхідну величину x в інтервал часу Δt , другий - інтервал часу Δt в послідовність імпульсів (цифровий код) N . Структурна схема такого перетворювача представлена на рис. 2.

Представлена на рис. 2 схема працює наступним чином.

Від генератора стабілізованих за частотою імпульсів (ГСІ) надходять імпульси сталої частоти з періодом проходження $T_{сч}$ на вхід часового селектора (ЧС) з двійковим або двійково-десятковим лічильником. У момент часу t_1 з блоку управління (БУ) надходить керувальний імпульс U_{t_1} одночасно на генератор лінійно зростаючої напруги (ГЛЗН) і блок формування команд (БФК). На виході ГЛЗН починає зростати напруга за лінійним законом $U_k = kt$, де k - кут нахилу характеристики ГЛЗН. Ця зростаюча напруга надходить на вхід пристрою порівняння (ПП). На другий вхід цього пристрою надходить вхідний вимірюваний сигнал U_x . Коли лінійно зростаюча напруга U_k досягне значення U_x , на виході пристрою порівняння з'явиться другий керуючий імпульс U_{t_2} в момент часу t_2 . Одночасно з цим на виході БФК в момент часу t_1 формується високий рівень сигналу $U_{пр}$, що управляє роботою часового селектора (ЧС). Цей високий рівень сигналу $U_{пр}$ відкриває пропускання імпульсів генератора на лічильник імпульсів часового селектора. Лічильник починає рахувати імпульси, що надходять. У момент часу t_2 на виході блоку формування команд (БФК)

керуючий сигнал $U_{\text{пр}}$ приймає значення низького рівня, при цьому часовий селектор закривається і рахунок імпульсів зупиняється.

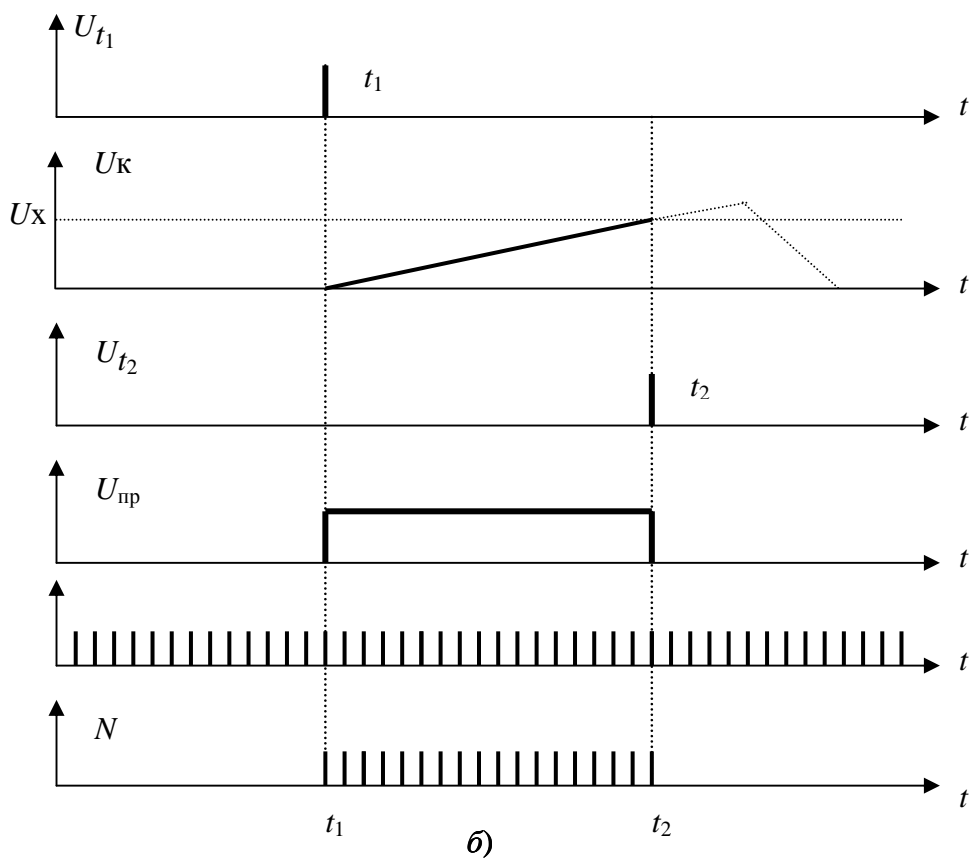
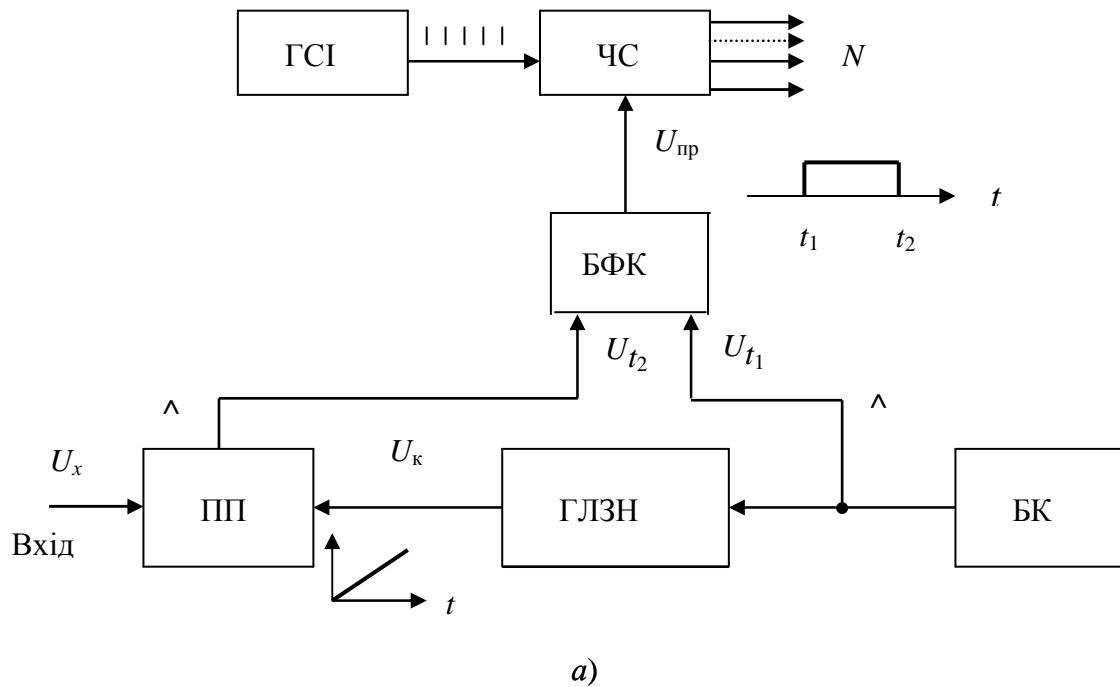


Рис. 2. Структурна схема (а) та часові діаграми роботи (б) АЦП з часо-імпульсним перетворенням

Кількість нарахованих на виході лічильника часового селектора імпульсів N і буде відповідати значенню вхідного сигналу U_x . При необхідності до виходу лічильника підключається блок пам'яті з дешифратором, що дозволяє бачити величину вхідного сигналу U_x в звичному десятковому вигляді. Число імпульсів, що заповнюють часовий інтервал $t_2 - t_1$, визначається як:

$$N \approx (t_2 - t_1) / T_{\text{сч.}},$$

$$t_2 - t_1 = U_x / k,$$

де k - відомий коефіцієнт, що залежить від швидкості наростання лінійно змінюваної напруги U_k .

$$N \approx U_x / kT_{\text{сч.}}$$

Загальна зведена похибка АЦП даного типу становить близько 0,1%.

Як зазначалося вище, вихідний сигнал N може бути представлений або в двійковому, або в двійковій-десятковому, або в десятковому, або в будь-якому іншому коді. Відповідність між цими кодами наступна.

N_{10}		N_2		$N_{2/10}$
0	→	0	→	0
1	→	1	→	1
2	→	10	→	10
3	→	11	→	11
4	→	100	→	100
5	→	101	→	101
6	→	110	→	110
7	→	111	→	111
8	→	1000	→	1000
9	→	1001	→	1001
10	→	1010	→	0001 0000
11	→	1011	→	0001 0001
12	→	1100	→	0001 0010
13	→	1101	→	0001 0011
14	→	1110	→	0001 0100
15	→	1111	→	0001 0101
16	→	10000	→	0001 0110
17	→	10001	→	0001 0111
18	→	10010	→	0001 1000
19	→	10011	→	0001 1001

.....

АЦП з частотно - імпульсним перетворенням

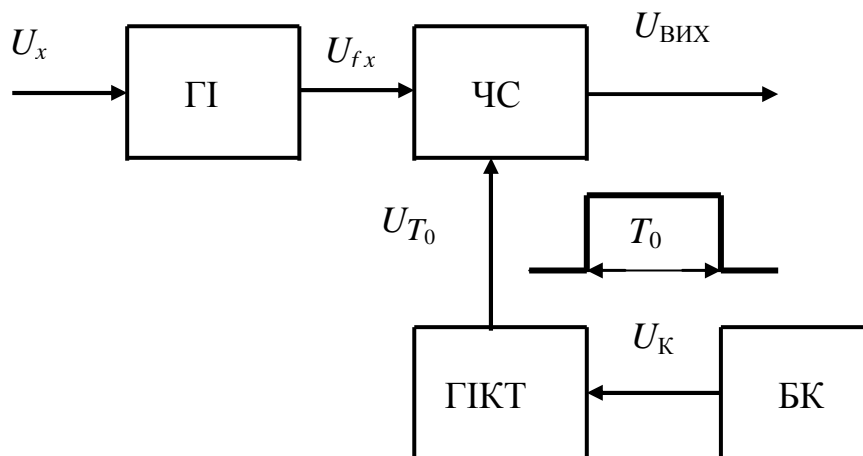


Рис. 3. Структурна схема АЦП з частотно-імпульсним перетворенням

На вхід генератора імпульсів ГІ надходить вхідний сигнал U_x , який впливає на вихідну частоту коливань f_x цього генератора. Далі імпульси генератора з амплітудою напруги U_{fx} і частотою f_x надходять на вхід часового селектора ЧС. На другий керувальний вхід цього селектора надходить сигнал управління U_{T_0} , який формується таким чином.

З блоку керування (БК) в певний момент часу виходить керуючий сигнал U_k . За його команди генератор імпульсів каліброваної тривалості (ГІКТ) формує високий рівень вихідного сигналу U_{T_0} строго постійної тривалості T_0 . За цим сигналом відкривається часовий селектор ВС і починається рахунок імпульсів, що надходять.

Оскільки частота імпульсів залежить від величини вхідного сигналу, то за час T_0 буде параховано кількість N імпульсів, залежну також від величини цього вхідного сигналу. Це і буде вихідний сигнал, який далі може бути представлений у будь-якому коді.

$$f_x = kU_x,$$

$$N \approx T_0 / T = T_0 f_x.$$

Часова діаграма роботи такого пристрою представлена на рис. 4.

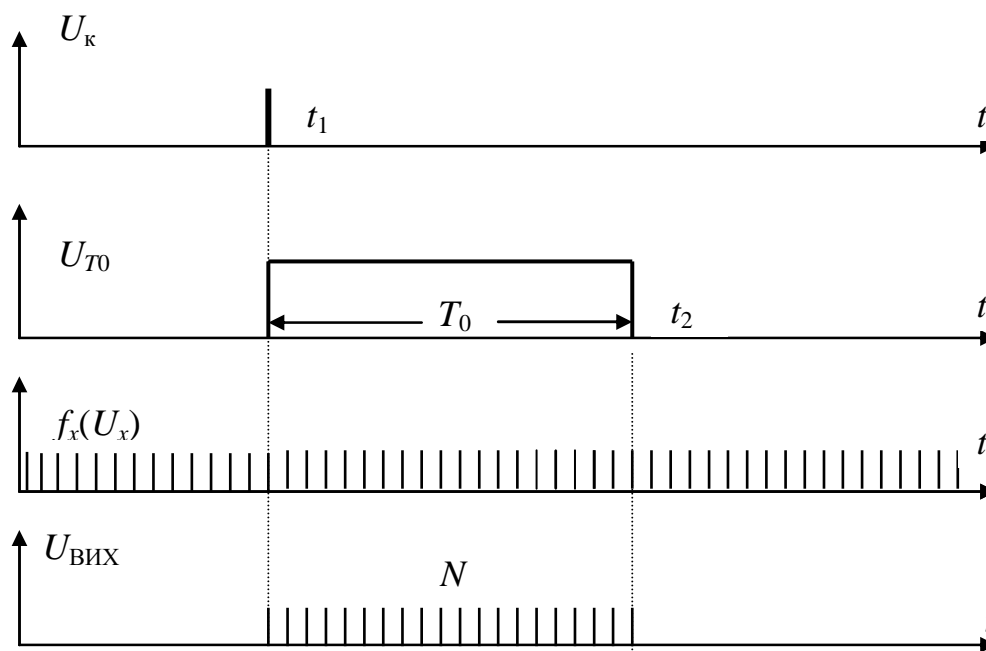


Рис. 4. Часові діаграми роботи АЦП з частотно-імпульсним перетворенням

АЦП порозрядного врівноваження

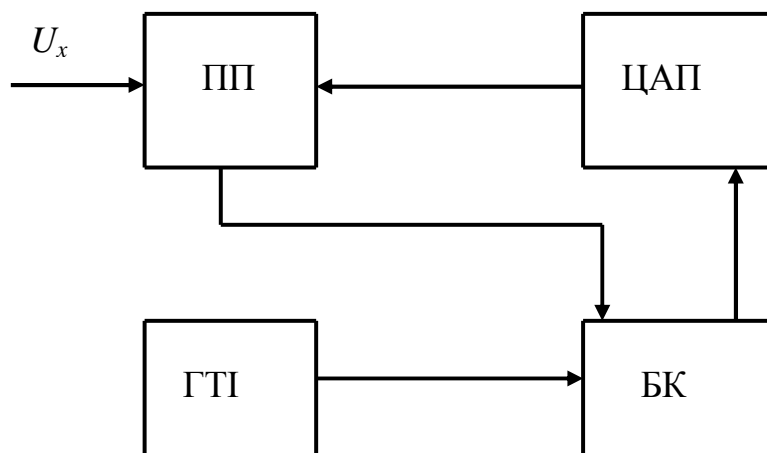


Рис. 5. Структурна схема АЦП порозрядного врівноваження

Працює це АЦП в такий спосіб. Вимірюється напруга U_x поступає на пристрій порівняння ПП та порівнюється з набором зразкових напруг

$U_{01} > U_{02} > \dots > U_{0n}$, який складено за певним законом, наприклад, відповідно до вагових розрядів двійкової системи числення. Ці напруги надходять на другий вхід пристрою порівняння ПП від перетворювача код – зразкова

напруга відповідно до команд блоку керування БК. Перетворювач код – зразкова напруга являє собою цифро – аналоговий перетворювач (ЦАП), завданням якого є вироблення аналогового сигналу відповідно до числового коду, що надходять на його вхід.

Послідовність роботи АЦП порозрядного врівноваження задається генератором тактових імпульсів ГТІ. У першому такті відбувається порівняння вхідної напруги U_x з найбільшим зразковим напругою U_{0_1} . Якщо $U_x < U_{0_1}$, тобто $U_x - U_{0_1} < 0$, то блок керування подає на вихід код 0. Таким чином, вищий розряд вихідного двійкового коду буде нульовим. Після цього напруга U_{0_1} відключають від пристрою порівняння ПП і на нього подається напруга $U_{0_2} = U_{0_1} / 2$. Знову здійснюють операцію порівняння U_x з U_{0_2} . якщо знову і на цей раз $U_x - U_{0_2} < 0$, то знову від пристрою порівняння відключається U_{0_2} і надсилається 0 в наступний розряд двійкового коду. Це буде відбуватися до тих пір, доки не стане $U_x - U_{0_i} > 0$. Тоді i - му розряду буде приписана одиниця, а до напруги U_{0_i} буде додано $U_{0_{i+1}} = U_{0_i} / 2$ і в наступному такті буде вироблено порівняння U_x з $U_{0_i} + U_{0_i} / 2$. Описаний процес буде тривати до тих пір, поки не буде підібрано напругу, найбільш близьку до вхідної.

Двійковий код потім перетворюється в десятковий і в цьому виді використовується, наприклад, в цифрових приладах.

АЦП послідовного наближення або слідкувального врівноваження

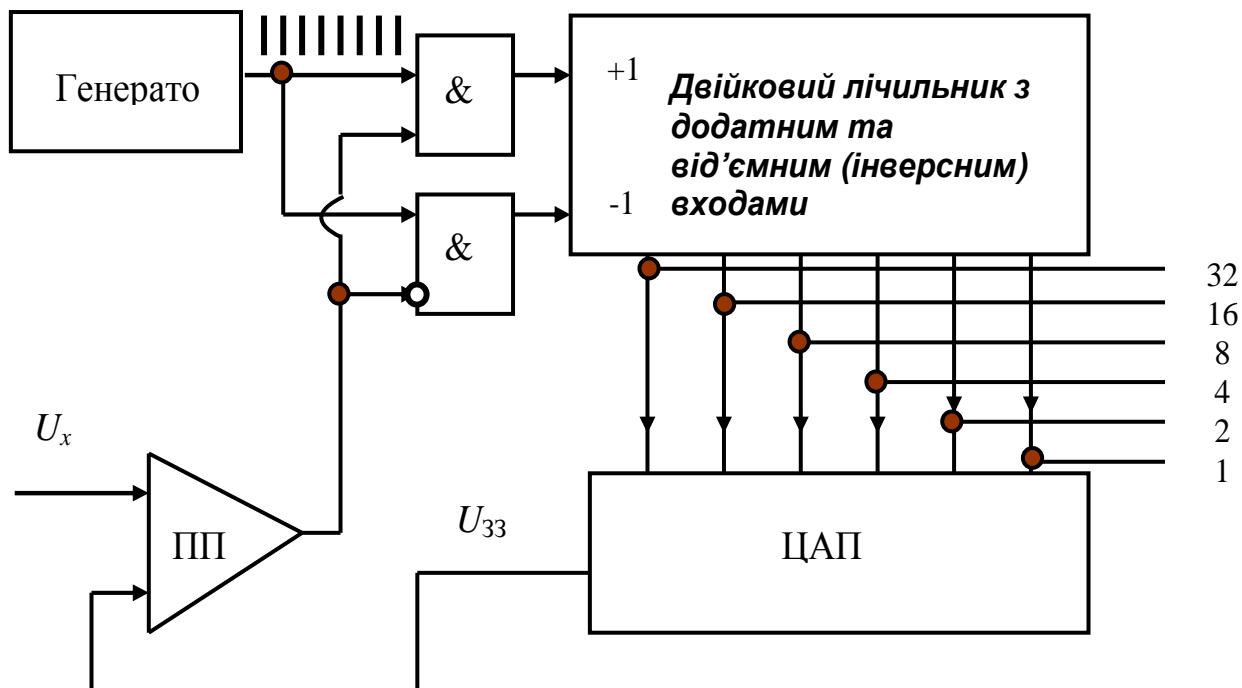


Рис. 6. Структурна схема АЦП послідовного наближення або слідкувального врівноваження

Структурну схему якого наведено на рис. 6. Вхідний сигнал U_x надходить на перший вхід пристрою порівняння ПП у вигляді будь-якого стандартного сигналу (0 - 5 мА, 0 - 10 В, ...). На другий вхід ПП надходить сигнал зворотного зв'язку U_{33} , що виходить з цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). Якщо виявляється, що $U_x > U_{33}$, то на виході ПП формується сигнал високого рівня. Цей сигнал високого рівня надходить на другі входи елементів «І» (&), причому, у одного елемента вхід інверсний (позначений порожнистою точкою). На перші входи цих елементів надходить сигнал з генератора коливань стабілізованою частотою.

Вихід того елемента «І», у якого обидва входи прямі (високого рівня), з'єднується з додатним входом двійкового реверсивного лічильника. А вихід того елемента «І», у якого один вхід інверсний, з'єднується з від'ємним входом реверсивного лічильника. Тому при наявності сигналу високого рівня

вня на виході ПП імпульси генератора будуть надходити на додатний вхід реверсивного лічильника, так як їх буде пропускати той елемент «І», у якого обидва входи високого рівня. Якщо ж виявиться що $U_x < U_{33}$, то на виході ПП сформується сигнал низького рівня і в цьому випадку сигнал від генератора буде надходити на від'ємний (інверсний) вхід реверсивного лічильника. Таким чином, якщо $U_x > U_{33}$, то лічильник буде налічувати імпульси, якщо ж $U_x < U_{33}$, то лічильник, навпаки, буде відраховувати імпульси.

В результаті цього на двійкових виходах реверсивного лічильника, пов'язаних зі входами ЦАП, буде формуватися сигнал в двійковому (або в іншому) коді, який буде залежить від величини U_x і який буде стежити за його величиною.

АЦП паралельного, або миттєвого перетворення

Вони використовуються в тих випадках, коли потрібно дуже висока швидкість перетворення, наприклад в відеотехніці, радіолокації, в цифрових осцилографах.

У цьому методі вхідний сигнал порівнюється одночасно з усіма граничними рівнями за допомогою компараторів, зміщених по рівню опорного сигналу на 1 МЗР відносно один одного. Зсув в перетворювачі забезпечується шляхом використання генератора опорного сигналу і прецизійної резистивної схеми. При подачі аналогового сигналу на вхід АЦП компаратори, зміщені вище рівня вхідного сигналу, мають на виході логічний «0», а зміщені нижче того рівня - логічну «1». Так як всі компаратори змінюють свій стан одночасно, процес квантування здійснюється за один крок. Швидкодіючий шифратор потім перетворює вихідний сигнал компараторів у вихідний сигнал всього АЦП. Швидкість перетворення в цьому випадку досягає 100 МГц при 8-ми розрядному розрішенні. Однак розрішення за

розрядністю миттєвих паралельних перетворювачів обмежена через необхідність великого числа компараторів ($2^n - 1$ для n -ми розрядного АЦП).

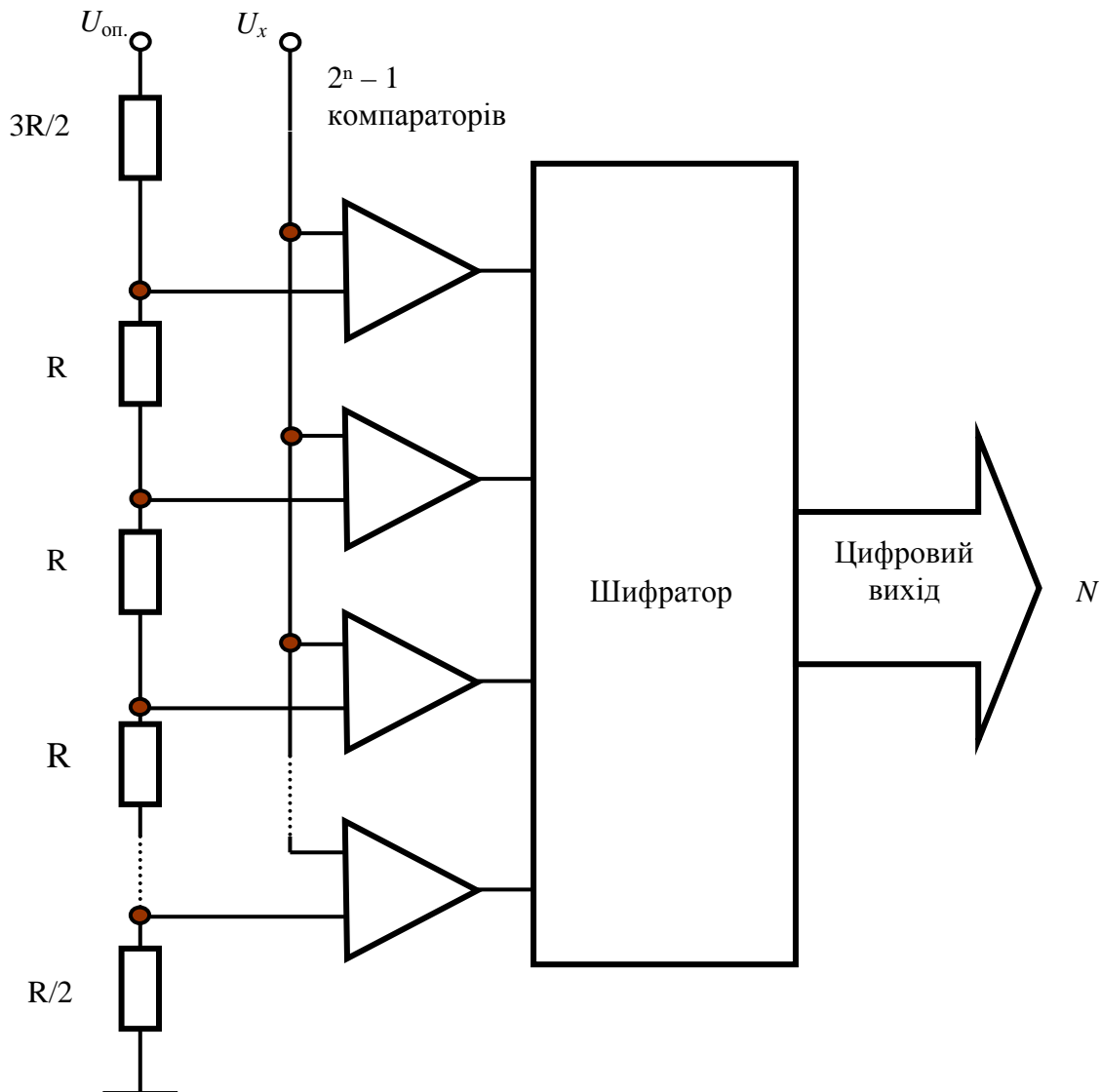


Рис. 7. АЦП паралельного, або миттєвого перетворення

Так як до складу АЦП порозрядного врівноваження і АЦП послідовного врівноваження входять цифро-аналогові перетворювачі (ЦАПи), то розглянемо одну схему цифро-аналогового перетворювача.

Цифро-аналогові перетворювачі

На рис. 8 представлена схема одного з варіантів цифро-аналогових перетворювачів. Цей перетворювач працює наступним чином.

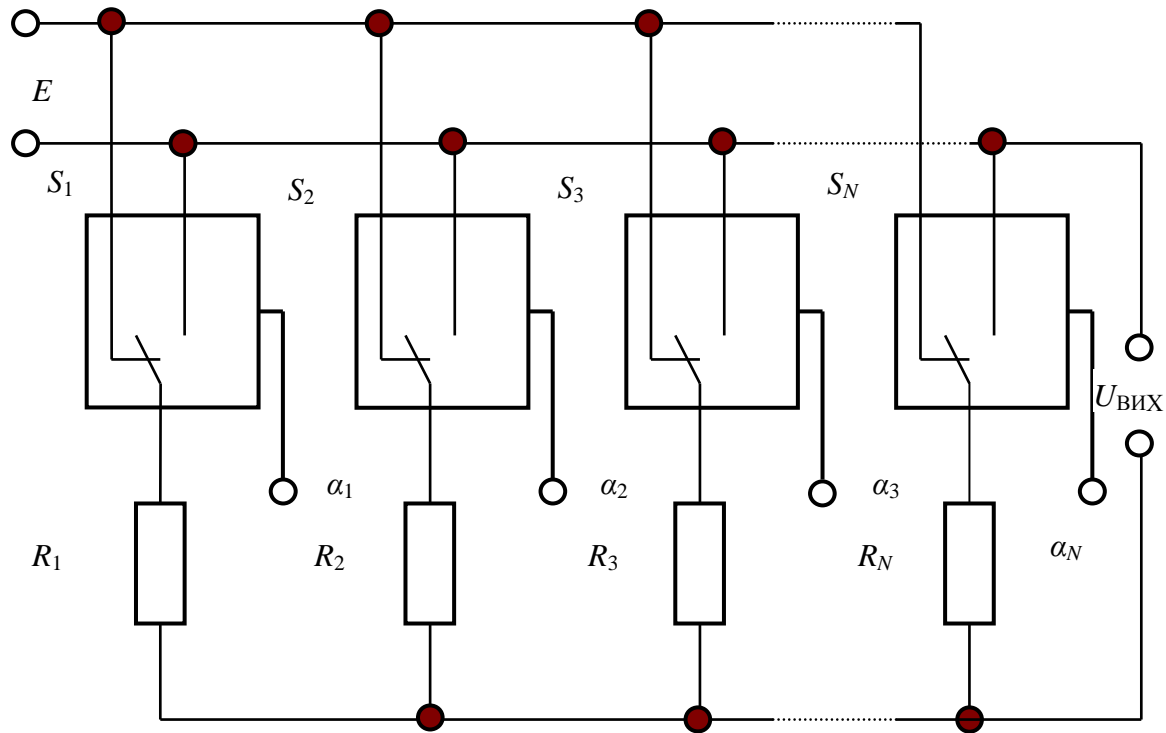


Рис. 8. Цифро-аналогові перетворювачі

При замиканні ключів S_1, \dots, S_N відповідно до команд, що надходять у двійковому коді $\alpha_1, \dots, \alpha_N$ відбувається замикання відповідних резисторів R_1, \dots, R_N з низьким рівнем опорного напруги E . В наслідок цього на виході пристрою відбувається перерозподіл потенціалу відповідно до двійкового коду, що поступив і на виході формується вихідна напруга $U_{\text{вих}}$, що буде відповідати цьому коду.

Резистори R_1, R_2, \dots, R_N підбираються таким чином, щоб їх провідності співвідносилися як вагові коефіцієнти двійкового коду:

$$(1/R_n) / (1/R_{n-1}) = (1/R_{n-1}) / (1/R_{n-2}) = \dots = (1/R_2) / (1/R_1) = 2;$$

тобто

$$G_n / G_{n-1} = G_{n-1} / G_{n-2} = \dots = 2, \text{ де } G_n, G_{n-1}, \dots, G_1 - \text{провідність.}$$

$$U_{\text{вих}} = A E \sum_{i=1}^n k_i 2^{i-1} ;$$

де A - коефіцієнт пропорційності;

E - зразкова напруга;

n - число розрядів керуючого двійкового коду, що надійшов
на входи $\alpha_1, \alpha_2, \dots \alpha_n$;

i - номер розряду;

k_i - розрядний коефіцієнт, який може приймати значення
0 або 1 в залежності від положення контактів $S_1, S_2, \dots S_N$.

Робота пневматичного АЦП з часом-імпульсним перетворенням

У зв'язку з тим, що в хімічній промисловості існує висока ймовірність пожежі і вибухів, актуальним є розробка АЦП, побудованих на засобах пневмоавтоматики – наприклад, на елементах системи УСЕППА. Найбільш простим за структурою і схемної реалізації є АЦП з часом - імпульсним перетворенням. У своїй роботі таке АЦП вирішує наступні завдання. Вхідний сигнал воно перетворює в інтервал часу, а далі цей інтервал перетворюється в цифровий код. Структура такого процесу може бути представлена так:

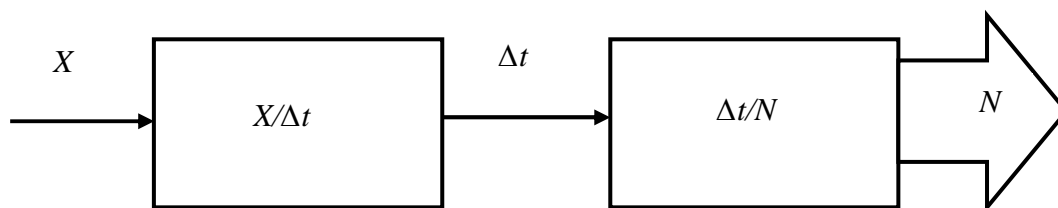


Рис. 9. Структурна схема перетворення сигналів в АЦП з часом-імпульсним перетворенням

Структурна ж схема такого АЦП представлена на рис. 10.

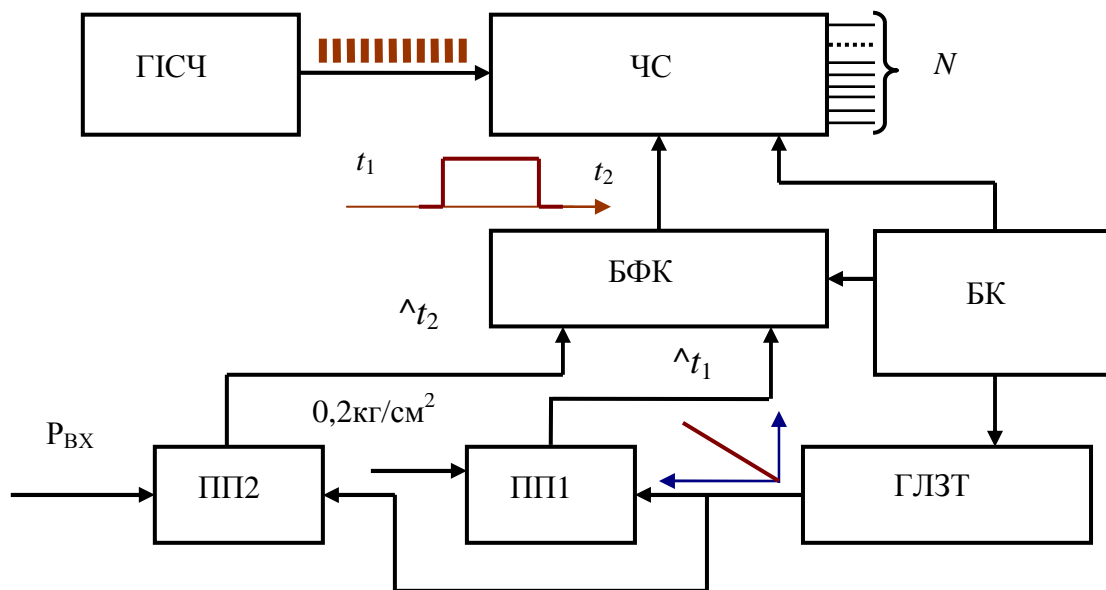


Рис. 10. Структурна схема пневматичного АЦП з часом-імпульсним перетворенням

Таке АЦП складається з генератора імпульсів стабілізованою частоти ГІСЧ, часового селектора з двійковим лічильником ЧС, блоку керування БК, блоку формування керувальних команд БФК, двох пристроїв порівняння ПП1 і ПП2 і генератора лінійно зростаючого тиску ГЛЗТ.

Працює цей пристрій наступним чином. На вхід часового селектора ЧС, виконаного у вигляді двійкового лічильника з блоком пам'яті, надходять пневматичні імпульси прямокутної форми від ГІСЧ. Одночасно з цим, в момент часу t_0 , блок керування БК формує керувальний імпульс, яким запускається генератор лінійно-зростаючого тиску ГЛЗТ. На виході цього генератора тиск починає збільшуватись за лінійним законом. Коли цей зростаючий тиск досягне першого заданого значення на пристрої порівняння ПП1, що дорівнює нульовому значенню пневматичного аналогового сигналу $0,2 \text{ кгс} / \text{см}^2$, то з виходу цього пристрою порівняння в момент часу t_1 вийде перший короткочасний керувальний імпульс. Цей імпульс надійде далі на блок формування команд БФК і сформує на виході цього

блоку високий рівень сигналу керування. Цей високий рівень відкриє часової селектор з лічильником і лічильник почне нараховувати в двійковому коді імпульси, що надходять від генератора. У момент часу, коли лінійно нарощуваний тиск досягне значення вхідного сигналу $P_{вх}$, який подається на другій вхід пристрою порівняння ПП2, на виході останнього в момент часу t_2 з'явиться другий короткочасний керувальний імпульс. Цей імпульс надійде на другий вхід блоку формування команд БФК і сформує на виході цього блоку низький рівень сигналу керування. Цей низький рівень закриє часової селектор, лічильник перестане рахувати імпульси, що надходять від генератора і нарахована до зупинки в двійковому коді на виході лічильника кількість імпульсів буде відповідати вхідному значенню вимірюваного сигналу.

Крім того, АЦП також повинен забезпечуватися пристроєм зберігання нарахованого числа імпульсів і пристроєм обнулення часового селектора.

ДОДАТОК 4
Специфікація устаткування, виробів і матеріалів (зразок)

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Код	Завод-виробник	Кількість	Маса одиниці, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
УСТАТКУВАННЯ ТА ПРИЛАДИ										
1-1, 17-1	Витрата	Пермеат.	24,6	Трубопровід	Діафрагма камерна, $P_y = 0,6$ МПа, $D_p = 75$ мм	ДКС0,6-75	—	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ	2 од.	11,2
1-2, 17-2	Температура	Те саме	Те саме	Місцевий	Дифманометр безшкальний з квадратичною функцією перетворення; $\Delta P_{max} = 40$ кПа, клас точності 1; $P_{зат} = 20 \dots 100$ кПа	13ДД11 (мод. 720)	—	ВО «Теплоприбор», м. Рязань	2 од.	6,5
1-3, 17-3	"	"	"	Шит керування	Прилад вторинний пневматичний показувальний, реєструвальний (система СТАРТ) зі станцією керування; $P_{зат} = 20 \dots 100$ кПа, граничнодопустима основна похибка 0,5 %; $P_{зат} = 140$ кПа	ФК0071	—	АТ «ТИЗПРИБОР», м. Москва	2 од.	7,5
1-4, 12-5, 17-4	"	"	"	Шит керування	Регулятор пневматичний пропорційно-інтегральний (система СТАРТ); витрата повітря живлення 4,5 л/хв, граничнодопустима основна похибка 0,5 %; $P_{зат} = 140$ кПа, $P_{зат} = 20 \dots 100$ кПа	ФР0091	—	АТ «ТИЗПРИБОР», м. Москва	3 од.	2
1-5, 12-6, 17-5	"	"	"	Трубопровід	Механізм виконавчий пневматичний прямої дії з позиціонером ПП-1.25 і боковим дублером; $P_{зат} = 0,25$ МПа	МІМП ІПХ 05	—	ВАТ «Прикарпат-профарматура», м. Івано-Франківськ	3 од.	33
6-1	Температура	Пермеат. трубопровід	140 °C	Трубопровід	Термоперетворювач опору мідний, HSCX 50M (100M), діапазон вимірювання: $-50 \dots 150$ °C, довжина монтажної частини 120...3150 мм; діаметр захисної арматури 10 мм; матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т; умовний тиск $P_y = 6,3$ МПа; інерційність 20 с; клас допуску В	TSM-1188	—	НВО «Електротермія», м. Луцьк	1 од.	4

Продовження додатка 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12
6-4	Каламутність	Вода, трубопр від	1 мг/дм ³	Байпас трубопр. 31	Механізм виконавчий електричний однообертний, 6,3 – номінальний момент на вихідному валу, Н·м; 12,5 – час повного ходу вихідного валу, с; 0,25 – повний хід вихідного валу, об	МЭО-6,3/12,5-0,25-99	-	Севанський завод електричних виконавчих механізмів, м. Севан	1 од.	6,5
15-1	В'язкість	Олива моторна, трубопр від	7,5 Па·с	Трубо-провід продукції	Віскозиметр вібраційний низькочастотний, діапазон вимірювання 1...100000 Па·с; гранично-допустима зведена похибка $\pm 2,5\%$; температура рідини мінус 60...200 °С; $I_{\text{звх}} = 4...20$ мА	ВВН-8	-	ТОВ «Автоматика», м. Воронеж	1 од.	8,5
17-2	Концентрація	NO ₂ , CO, CO ₂ , ТЕЦ-6	0,005	Місцевий	Газоаналітична система технологічного та екологічного моніторингу; діапазон вимірювання 0,0001...100 об. д. %, довжина пробовідбірника 200...3500 мм, температура вимірюваного газу до 1500 °С, довжина – мінус 50...80 °С, вихідні сигнали: аналогові 0...5 мА, 4...20 мА; дискретні; цифрові – інтерфейс RS-485/232, Ethernet	КТО*	-	ФДП «Смоленское ПО «Аналитприбор», м. Смоленськ	1 комплект	-
18-2	-	-	-	Місцевий	Перетворювач пневмоелектричний, осн. похибка $\pm 0,25\%$; $P_{\text{зх}} = 20...100$ кПа; $I_{\text{звх}} = 0...5$ мА	ПЕП-11	-	ВАТ «Микрот», м. Івано-Франківськ	1 од.	0,4
21-4	-	-	-	Щит керування	Перетворювач електропневматичний, осн. похибка $\pm 0,5\%$; $I_{\text{зх}} = 0...5$ мА; $P_{\text{звх}} = 20...100$ кПа	МТМ 810	-	НВП «Микротерм», м. Сіверодонецьк	1 од.	1,5

Закінчення додатка 4

ЕЛЕКТРОПАРАТИ

SB1	Витрата	Насоси Н-1, Н-2	80 м³/год	Щит ке- рування	Пост керування кнопковий, кількість елементів керування – 2; $U_{ном} = 220$ (380) В, 50/60 Гц	ПКУ 15-21- 131 УЗ	Трест «Променерго- автоматика», м. Київ	1 од.	0,27
KB1	-	-	-	-	Кнопка запобіжного відмикання, $I_{ном} = 10$ А	КМЕ-5111У	-	1 од.	0,21
МП1, МП2	-	-	-	Місцевий	Магнітний пускacz безконтактний, реверсивний для керування електричними ВМ з однофазними (трифазними) електропостачуваннями, керувальний сигнал $U_{к} = 24 \pm 6$ В, $U_{хвз} = 220$ (380) В, 50/60 Гц	ПБР-2М (ПБР-3М)	ВО «Електроприбор», м. Чебоксари	2 од.	3,5
HL1, HL2	-	-	-	-	Лампа сигнальна світлодіодна із зеленим індикатором («ПУСК»), $U_{хвз} = 220$ В, 50/60 Гц	ЛС 47-1	«ЛЕК Україна», м. Київ	2 од.	0,12
HL3, HL4	-	-	-	-	Лампа сигнальна світлодіодна з червоним індикатором («СТОП»), $U_{хвз} = 220$ В, 50/60 Гц	ЛС 47-2	«ЛЕК Україна», м. Київ	2 од.	0,12

*Контрольовані параметри: N_2 , O_2 , H_2 , CO , CO_2 , He , N_2 , NO , NO_2 , N_2O , HF , SO_2 , H_2S , CH_4 , C_2H_2 , CH_2O , Cl_2 , HCl , NH_3 ,

граничнодопустимі концентрації в повітрі робочої зони токсичних та забруднювальних речовин [вуглеводні, галоїди та їх похідні, пари різноманітних органічних сполук (спирти, розчинники, кетони, ароматичні вуглеводні, феноли, альдегіди, карбонові кислоти тощо)].

ЕЛЕКТРОННЕ МЕРЕЖЕВЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
МАТЕМАТИЧНІ ОПЕРАЦІЇ НА ПНЕВМАТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТАХ
ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ**

**Навчальний посібник до вивчення курсу
“Технічні засоби автоматизації. Електричні та пневматичні
системи керування**

*для студентів, які навчаються за спеціальністю 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

Укладачі:

Сташкевич Павло Миколайович.

Лукінюк Михайло Васильович

Відповідальний

редактор

А. І. Жученко, докт. техн. наук, проф.

У авторській редакції